

Estimativa de cargas de *E. coli* e análise espaço-temporal
da balneabilidade na Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC.

Thiago de Liz Arcari

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

Estimativa de cargas de *E. coli* e análise espaço-temporal da
balneabilidade na Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC

THIAGO DE LIZ ARCARI

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental. – TCC II.



Prof. Davide Franco, Dr.
Orientador

Banca Examinadora:



Prof. Henry Xavier Corseuil, Dr.
Membro da Banca



Prof. Erico Porto Filho, Msc.
Membro da Banca

FLORIANÓPOLIS (SC)
DEZEMBRO 2015

Dedico esse trabalho ao Dr. Daniel Santos Souza e toda sua equipe, que estavam de prontidão na hora em que mais precisei, tornando possível essa jornada até aqui.

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez”.
(Jean Cocteu)

RESUMO

A Lagoa da Conceição, maior corpo lagunar da Ilha de Santa Catarina, é um ambiente estuarino de usos múltiplos. A qualidade da água destinada a atividades de contato primário, direto e prolongado é denominada balneabilidade, que tem como indicador a bactéria *Escherichia coli*. A ocupação antrópica na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição vem exercendo na laguna um decréscimo na sua balneabilidade, afetando atividades de recreação, pesca, turismo, navegação e atividades esportivas. Para avaliar os efeitos da atividade humana na balneabilidade do corpo hídrico, é preciso quantificar os aportes de indicadores de poluentes na laguna, em especial *E. coli*. Estudos hidrodinâmicos já foram realizados a fim de avaliar os padrões de circulação dos poluentes, porém nenhum trabalho dispunha de dados experimentais medidos *in situ*. Com o objetivo de levantar dados para futuros trabalhos de gestão e planejamento da bacia, o presente estudo quantificou os aportes fluviais e cargas de *E. coli* na laguna. As estimativas foram feitas em cinco sub-bacias com diferentes características morfométricas e de ocupação antrópica. As vazões foram medidas pelo método do flutuador e as concentrações quantificadas pelo método Colilert. O estudo mostrou que os aportes fluviais têm relação com as distintas características morfométricas das sub-bacias, assim como tipo de solo, uso e ocupação. Os escoamentos superficiais também foram diretamente influenciados pelo regime pluvial. As concentrações de *E. coli* se mostraram bastante variáveis ao longo do período de monitoramento, apresentando grande influência do regime de chuvas. As maiores cargas per capita médias foram quantificadas nos pontos do Centro e Canto da Lagoa (6×10^5 e 8×10^6 NMP/hab.d, respectivamente). O aporte total de *E. coli* na laguna foi estimado em 4×10^{10} NMP/d na baixa temporada e $8,2 \times 10^{10}$ na alta temporada. Com os dados de balneabilidade fornecidos pela FATMA, foi realizada uma análise espaço-temporal a fim de identificar os pontos com piores índices de balneabilidade e relacionar estes com as cargas quantificadas, assim como com os padrões de circulação da laguna. Foi constatado que os pontos de monitoramento FATMA próximos à exutórias de sub-bacias com maiores cargas e menor circulação hidrodinâmica apresentam piores índices de balneabilidade.

Palavras-chave: Monitoramento Ambiental, Balneabilidade, Lagunas Costeiras

ABSTRACT

Lagoa da Conceição, the biggest lagoon in Santa Catarina Island, is an estuarine environment with multiples uses. The water quality intended to primary, direct and prolonged contact activities is known as bathing water quality, which is indicated by *Escherichia coli*. The anthropic occupation in the Lagoa da Conceição basin is lowering the bathing water quality. This affects recreation activities such as fishing, tourism, navigation and watersports. A way of evaluate how human activity affects the lagoon water quality, is to quantify the pollutants input, especially *E. coli*. Hydrodynamics studies already have been performed with the goal of evaluate the pollutants circulation patterns, however none of previous studies had experimental in situ data. With the goal of raise data to future management and planning studies of the basin, the present study quantified the fluvial inputs and *E. coli* loads in the lagoon. The data were collected in five sub-basins with different morphometric characteristics and occupation. The flow was measured by the float method and the concentrations were quantified by the Colilert method. The study showed that the fluvial input has relation with the different morphometric characteristics, type of soil, use and occupation. The surface runoffs were also directly affected by the precipitation pattern. The *E. coli* concentration was highly variable during the monitoring period, with high influence of the rain pattern. In addition, the higher *per capita* load averages were located in Centro and Canto da Lagoa sub-basins, with 6×10^5 and 8×10^6 MPN/person.day, respectively. The total *E. coli* load in the lagoon was estimated in 4×10^{10} MPN/day for low season and $8,2 \times 10^{10}$ MPN/day during high season. A spatiotemporal analysis, using the bathing water quality data provided by FATMA, was prepared with the goal of identify the lower bathing water quality index and associate with the sub-basins load and the lagoon circulation. It was found that the FATMA monitoring points next to exit of the higher load sub-basins and with less circulation revealed lower bathing water quality index.

Keywords: Environmental Monitoring, Bathing Water Quality, Coastal Lagoons.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	17
Figura 2 – Delimitação das sub-bacias.	20
Figura 3 – Divisão da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em URHs.....	23
Figura 4 - Tipos de solo na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.....	25
Figura 5 - Sub-bacias com coleta e tratamento público de esgoto.....	28
Figura 6 - Fluxograma da metodologia aplicada	32
Figura 7 - Localização dos pontos de monitoramento de dados ambientais	36
Figura 8 - Seções de monitoramento. A) Centro da Lagoa; B) JG; C) Porto da Lagoa; D) Costa da Lagoa; E) Canto da Lagoa	39
Figura 9 - Seções dos rios das sub-bacias monitoradas.....	41
Figura 10 - Pontos de monitoramento de balneabilidade FATMA	45
Figura 11 - Localização dos grupos de balneabilidade - FATMA	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Normais climatológicas de 1961 a 1990 para Florianópolis/SC.	18
Gráfico 2 - Vazões fluviais monitoradas por sub-bacia e precipitação diária	49
Gráfico 3 - Vazões específicas das sub-bacias monitoradas	54
Gráfico 4 – Variação Temporal das cargas per capita de <i>E. coli</i> ao longo do tempo	62
Gráfico 5 – Carga per capita média nas sub-bacias monitoradas.....	63
Gráfico 6 - Agrupamento dos pontos de monitoramento FATMA	66
Gráfico 7- Médias das porcentagens de amostras impróprias por grupos e subgrupos	69
Gráfico 8 - Séries temporais das porcentagens de amostras impróprias dos grupos de pontos de amostragem FATMA	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de balneabilidade da resolução CONAMA n° 274/2000.....	15
Tabela 2 - Características das URHs da Lagoa da Conceição.....	24
Tabela 3 - Dados dos SES da bacia da Lagoa da Conceição.....	27
Tabela 4 – Localização e características dos pontos de monitoramento de dados ambientais	35
Tabela 5 – Tipo de solo das sub-bacias monitoradas	37
Tabela 6 – Uso e ocupação das sub-bacias monitoradas	37
Tabela 7 – Características morfométricas das sub-bacias monitoradas.	38
Tabela 8 – Dimensões do vertedor da sub-bacia Costa da Lagoa	41
Tabela 9 – Parâmetros levantados nas campanhas de monitoramento ..	47
Tabela 10 - Aporte de efluentes sanitários por bacia para população residente (2010).....	50
Tabela 11 - Proporção dos aportes sanitários e vazões medidas nas campanhas de monitoramento	52
Tabela 12- Vazões específicas nas sub-bacias monitoradas.....	53
Tabela 13 – Concentrações de <i>E. coli</i> nas sub-bacias monitoradas.....	56
Tabela 14 - Cargas de <i>E. coli</i> na sub-bacia do Centro.....	58
Tabela 15 - Cargas de <i>E. coli</i> na sub-bacia do Canto da Lagoa	58
Tabela 16 - Cargas de <i>E. coli</i> na sub-bacia da Costa da Lagoa	59
Tabela 17 - Cargas de <i>E. coli</i> na sub-bacia do Porto da Lagoa	59

Tabela 18 - Cargas de *E. coli* na sub-bacia do Rio João Gualberto60

Tabela 19 – Cargas de *E. coli* por URH.....65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

ENS – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

EPA – Environmental Protection Agency

FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina

GPS – Global Positioning System

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

JG – João Gualberto

LAHIMAR – Laboratório de Hidráulica Marítima

LIMA – Laboratório Integrado do Meio Ambiente

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NMP – Número Mais Provável

OD – Oxigênio Dissolvido

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PMISB – Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

URH – Unidade de Resposta Hidrográfica

UV – Ultra Violeta

SES – Sistema de Esgotamento Sanitário

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Sistemas Estuarinos e Lagunas Costeiras	4
3.2 Ciclo Hidrológico	5
3.3 Bacia Hidrográfica, Sub-bacias e Unidades de Resposta Hidrológica.....	6
3.4 Contribuição Hidrológica.....	7
3.5 Características Físicas das Bacias Hidrográficas	7
3.6 Contribuição de aportes sanitários	8
3.7 Qualidade da Água.....	9
3.7.1 Coliformes	10
3.7.2 Decaimento Bacteriano.....	12
3.7.3 Balneabilidade	14
4. ÁREA DE ESTUDO.....	17
4.1 Localização	17
4.2 Área.....	17
4.3 Clima.....	18
4.4 Hidrologia e Hidrografia.....	19
4.5 Unidades de Resposta Hidrológica (URH)	21
4.6 Uso e Ocupação do Solo	24
4.7 Tipos de Solo	24
4.8 População por Sub-bacias	26
4.9 Sistema de Esgotamento Sanitário	26

5. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
5.1 Contribuição Hidrológica	33
5.2 Aporte de Efluentes Sanitários por Sub-bacia	33
5.3 Campanhas de Monitoramento dos Dados Ambientais	34
5.3.1 Tipo de Solo das Sub-bacias Monitoradas.....	36
5.3.2 Uso e Ocupação das Sub-bacias Monitoradas	37
5.3.3 Características Morfométricas das Sub-bacias Monitoradas.....	38
5.3.4 Estimativa dos Aportes Fluviais	38
5.3.5 Estimativa de Vazões Específicas	42
5.3.6 Análise de Concentração de <i>E. coli</i>	43
5.3.7 Estimativa de Cargas de <i>E. coli</i> Afluentes ao Corpo D'água.....	43
5.4 Monitoramento da Balneabilidade.....	44
5.5 Dados de Precipitação	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6.1 Campanhas de Monitoramento de Dados Ambientais	47
6.1.1 Aportes Fluviais.....	47
6.1.2 Aportes de Efluentes Sanitários.....	50
6.1.3 Vazões específicas.....	53
6.1.4 Concentração de <i>E. coli</i>	56
6.1.5 Cargas per Capita de <i>E. coli</i>	57
6.1.6 Aporte de Cargas de <i>E. coli</i> no Corpo Hídrico da Lagoa de Conceição	64
6.2 Análise de Balneabilidade	66
6.2.1 Análise Espacial	66
6.2.2 Análise Temporal	70
7. CONCLUSÃO.....	72

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO A – Vazões Medidas	82
ANEXO B - Vazões Específicas	82
ANEXO C - Dados Balneabilidade - FATMA.....	83

1. INTRODUÇÃO

Os aportes de efluentes sanitários tem contribuído para um decréscimo da qualidade da água dos recursos hídricos. Segundo a ABES (2010), em Santa Catarina, somente 12% da população do Estado é atendida com coleta e tratamento de esgoto sanitário, o classificando como um dos piores estados do país em saneamento básico.

A balneabilidade é definida como a qualidade de água referente ao lazer e contato primário com o corpo d'água (CETESB, 2011). Em muitos corpos d'água do país, a balneabilidade vem sendo prejudicada pela ocupação urbana sem planejamento, deficiência de infraestrutura e falta de consciência ambiental. Um exemplo disso é a Lagoa da Conceição, área de estudo do presente trabalho.

A Lagoa da Conceição, localizada na porção centro-leste da Ilha de Santa Catarina, é um ambiente estuarino e classificada como uma laguna sufocada, pois apresenta uma única ligação do corpo d'água com o oceano, o Canal da Barra da Lagoa, que funciona como um filtro, atenuando as oscilações de maré dentro da laguna (MIRANDA *et al*, 2002; SIERRA DE LEDO *et al*, 1999). Ao longo dos últimos anos, a pressão antrópica sobre o corpo d'água, devido à crescente e expressiva ocupação urbana e sem planejamento, tem acarretado uma sistemática degradação da qualidade da água, comprometendo a balneabilidade em vários locais do sistema estuarino.

Para uma eficaz gestão dos corpos d'água, a Política Nacional dos Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433/97, incorpora princípios e normas para gestão de recursos hídricos, adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Portanto, para o gerenciamento do corpo lagunar, é necessária a segmentação da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em sub-bacias, a fim de estimar os aportes destas áreas de contribuição quanto à sua qualidade e quantidade.

Os processos que afetam as condições, variabilidades físicas e qualitativas do sistema, são de grande complexidade, portanto, necessitam serem abordados a partir de estudos multidisciplinares. Com base nisto, o Laboratório de Hidráulica Marítima (LAHIMAR), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) vem investigando cientificamente os fenômenos físicos do ambiente estuarino associado ao ecossistema da Lagoa da Conceição.

Estudos sobre a hidrodinâmica da Lagoa da Conceição foram realizados por Koefender (2005), Lino (2005) e Rocha (2007). Em 2007 deu-se início a estudos relativos à bacia hidrográfica, onde Godoy (2007)

identificou os diferentes tipos de solo e cobertura. Odreski (2007) avaliou as alterações da cobertura do solo entre 1998 e 2004, e Bauer (2007) apresentou as características geomorfológicas da bacia e segmentação das sub-bacias.

Godoy (2009) foi o primeiro a considerar a componente hidrológica juntamente com a oceanográfica em estudos da hidrodinâmica da laguna. A partir disso, Silva (2010) avaliou a influência do Rio João Gualberto no nível d'água da Lagoa da Conceição e Odreski (2012) estudou a influência dos aportes fluviais das sub-bacias consideradas perenes na sua hidrodinâmica.

Bier (2013) retomou os estudos sobre a morfometria das sub-bacias da Lagoa da Conceição, caracterizando seus parâmetros morfométricos e agrupando os setores com características semelhantes por meio de análise estatística. Silva (2013), a partir da delimitação e população das sub-bacias, analisou os aspectos qualitativos das contribuições das sub-bacias e suas implicações sobre a balneabilidade na laguna a partir de modelagem hidrodinâmica.

No entanto, nenhum trabalho dispunha de dados experimentais medidos *in situ*, em relação à quantidade e qualidade das descargas fluviais das sub-bacias. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo estimar as cargas de indicadores de poluentes na Lagoa da Conceição, em especial *E. coli*, e sua influência na balneabilidade no corpo lagunar. As diferentes características das sub-bacias fazem com que seja necessário um monitoramento sistemático, com a finalidade de quantificar os aportes de cargas em diferentes regiões. Os resultados encontrados foram relacionados com a análise espaço-temporal do monitoramento de balneabilidade, executado pela Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA), e as características hidrodinâmicas da Lagoa da Conceição.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente estudo é avaliar os aportes fluviais e antrópicos e sua influência na balneabilidade da Lagoa da Conceição, localizada em Florianópolis/SC, utilizando dados históricos e medições atuais.

2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar os aportes fluviais e cargas de *E. coli* na Lagoa da Conceição.
- Realizar análise espaço-temporal dos dados de monitoramento de balneabilidade executado pela Fundação do Meio Ambiente/SC (FATMA) na Lagoa da Conceição.
- Relacionar a balneabilidade do corpo d'água com as cargas de *E. coli* e comportamento hidrodinâmico da Lagoa da Conceição.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistemas Estuarinos e Lagunas Costeiras

A definição clássica de sistemas estuarinos é definida por Pritchard (1967), que define como corpos d'água costeiros, semifechados, que são livremente conectados com o oceano, onde a água salgada é diluída com a água doce que drena a bacia hidrográfica continental.

Uma definição mais recente foi descrita por Dyer (1997), onde um estuário é um corpo de água costeiro semifechado com ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite da influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.

Uma característica fundamental de um estuário é a interação que ocorre no seu interior entre a água salgada e doce, e por isso é muito comum a classificação pela salinidade, relatando graus de mistura entre essas duas massas de água. Em um típico estuário, a salinidade diminui do oceano para o rio, permitindo assim a subdivisão em áreas dependendo da salinidade apresentada: uma área com alta salinidade é chamada de polihalina, com salinidades médias constitui a parte mesohalina, e a região de menor salinidade, oligohalina (DAY JR *et al.*, 1989).

A bacia de drenagem é a origem do sistema de rios que abastece o estuário com água fluvial, sedimentos, substâncias orgânicas, inorgânicas e poluentes. A quantidade e qualidade da água recebida pela bacia depende das condições climáticas, das características do solo, da cobertura vegetal, das ocupações urbanas, agrícolas e industriais na região de contribuição (SILVA, 2013).

As lagunas costeiras, são sistemas estuarinos que apresentam a formação geográfica de um corpo d'água semifechado com conexão permanente ou intermitente com o oceano, possibilitando um maior tempo de residência da água no corpo hídrico (HUNG & HUNG, 2003).

Miranda *et al.* (2002) propõem a seguinte definição: “Laguna costeira é um sistema marinho raso, geralmente orientado paralelamente à costa, separado do oceano por uma barreira, interligada pelo menos intermitentemente ao oceano por um ou mais canais”.

Ainda segundo Miranda *et al.* (2002), as lagunas costeiras podem ser classificadas de acordo com a quantidade de troca de água com o oceano e com a intensidade da ação da maré no seu interior, que estão dinamicamente relacionadas com as condições dos canais e aberturas para o oceano, ficando assim divididas em:

- Lagunas sufocadas: ambiente costeiro formado por células elípticas, conectado ao mar por somente um canal estreito que funciona como um filtro, atenuando as oscilações de maré dentro da laguna.
- Lagunas restritas: ambiente costeiro amplo com dois ou mais canais estreitos e a circulação é forçada pela maré bem definida.
- Lagunas vazadas ou abertas: sistema marinho alongado com entradas múltiplas onde as amplitudes de maré são moderadas ou grandes.

De acordo com a classificação estabelecida, a Lagoa da Conceição pode ser classificada como uma laguna sufocada, visto a única conexão com o oceano através do canal da Barra da Lagoa, que atenua as variações de maré dentro da laguna. Após a construção do molhe do Canal da Barra, Sierra de Ledo *et al.* (1999) verificaram que o volume de água que entra durante a preamar contribui com cerca de 4% da taxa de renovação da do corpo lagunar (SILVA, 2013).

De acordo com SUGUIO (1998), ao longo da costa brasileira, a maioria das lagunas é denominada erroneamente de lagoa e coloca como exemplo a laguna dos Patos/RS (hipossalina), e a laguna de Araruama/RJ (hipersalina).

3.2 Ciclo Hidrológico

Para um efetivo gerenciamento de recursos hídricos, o princípio unificador fundamental de tudo o que se refere à água é o ciclo hidrológico. TUCCI (1993) define ciclo hidrológico como sendo o movimento da água entre os continentes, oceanos e a atmosfera, com constante mudança de estado físico da água, cujo motor dessa circulação é a energia solar.

Conforme SPEIDEL *et al.* (1988), os componentes do ciclo hidrológico são principalmente a precipitação pluvial, evaporação, drenagem e infiltração da água. Assim, devido ao aquecimento da região próxima ao solo, a água em seu estado líquido é evaporada e transpirada pelas plantas e animais, ocasionando o acúmulo de seu vapor, que, por sua vez, origina as nuvens.

Componente fundamental do ciclo hidrológico, a precipitação pluvial, atinge a superfície terrestre e toma diferentes caminhos. Parte dela pode infiltrar no solo e atuar na formação do lençol freático e de nascentes, ou fazer parte do escoamento superficial. A partir dos escoamentos, os cursos de águas são então formados. Estes são divididos em escoamento superficial, escoamento sub-superficial ou hipodérmico e

escoamento subterrâneo, os quais se diferem principalmente pela profundidade e localização onde a água escoar (SWAROWSKY *et al.*, 2012).

3.3 Bacia Hidrográfica, Sub-bacias e Unidades de Resposta Hidrológica

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado sobre a superfície da área de contribuição e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados no solo. Em um evento isolado, estas perdas podem ser desconsideradas e pode-se analisar a transformação de chuva em vazão feita pela bacia com a ajuda de um hietograma (chuva) e um hidrograma (vazão) (TUCCI, 1993).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas, tais como forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros; e do tipo de cobertura (uso e ocupação). Dessa maneira, as características físicas, bióticas e antrópicas de uma bacia possuem importante função nos processos do ciclo hidrológico, influenciando diretamente a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e sub-superficial (TONELLO, 2005).

A contribuição da bacia pode não necessariamente ser definida topograficamente pelo divisor de águas. A geologia local pode fazer com que áreas externas à bacia contribuam para o exutório por fluxo subterrâneo (WILSON, 1990). Assim pode-se definir bacia hidrogeológica como conjunto de áreas cujo escoamento, superficial e subterrâneo, alimenta o deflúvio em determinada seção transversal do curso de água. A bacia hidrogeológica pode identificar-se eventualmente com a hidrográfica (GARCEZ & ALVAREZ, 1988)

As definições que envolvem as subdivisões da bacia hidrográfica (sub-bacia e microbacia) apresentam abordagens diferentes tocando fatores que vão do físico, político ao ecológico (TEODORO *et al.*, 2007). Segundo Santana (2003), as bacias hidrográficas podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de exutório considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

As áreas das sub-bacias podem ser agrupadas ou divididas em unidades de resposta hidrológica (URH). Unidades de resposta

hidrológica são porções da bacia que possuem características de tipo de solo, uso e ocupação do solo semelhantes (NEITSCH, 2000).

3.4 Contribuição Hidrológica

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo na bacia: vertical e o longitudinal. O vertical é representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo, enquanto que o longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (TUCCI, 2006).

O escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico que trata do conjunto das águas que, por efeito da gravidade, se desloca na superfície da terra (GARCEZ & ALVAREZ, 1988).

As águas provenientes da precipitação atingem o leito do curso de água por quatro vias diversas: precipitação direta sobre a superfície líquida, escoamento superficial, escoamento sub-superficial e escoamento subterrâneo (GARCEZ & ALVAREZ, 1988).

As contribuições hidrológicas abastecem o corpo d'água da Lagoa da Conceição. A quantidade e qualidade das contribuições dependem das condições climáticas, das características do solo, da cobertura vegetal, das ocupações urbanas, agrícolas e industriais da bacia (SILVA, 2013).

3.5 Características Físicas das Bacias Hidrográficas

Para Villela & Mattos (1975), as características físicas de uma bacia hidrográfica constituem elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico, pois, ao se estabelecerem relações e comparações entre eles e dados hidrológicos conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais nos quais falem dados.

Há diversas características físicas das bacias hidrográficas que influenciam na contribuição hidrológica. Essas características podem influenciar em maior ou menor grau na descarga da bacia e podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local. A intensão de analisar os parâmetros separadamente é tentar determinar o efeito de cada característica na dinâmica da bacia.

O estudo geológico dos terrenos das bacias tem por objetivo principal classificar-los quanto à maior ou menor permeabilidade, característica esta que intervém fundamentalmente na rapidez e no

volume das enchentes e na parcela levada às vazões de estiagem (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

A cobertura vegetal, especialmente a cobertura florestal e a presença de campos cultivados, soma sua influência à dos fatores geológicos para condicionar a rapidez do escoamento superficial, as taxas de evaporação e a capacidade de retenção (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

A declividade média do talvegue é dada pela diferença de cota (altura altimétrica) em metros entre a exutória e o ponto mais alto e afastado da bacia; dividido pelo o comprimento do canal entre esses pontos. Quanto maior for a declividade, maior será a velocidade do escoamento por gravidade e consequentemente menor será o tempo de concentração da bacia hidrográfica em questão (PORTO, 1999).

Tempo de concentração relativo a uma seção de um curso de água é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir na seção em estudo. Corresponde à duração da trajetória da partícula de água que demora mais tempo para atingir a seção (PINTO, 1978)

3.6 Contribuição de aportes sanitários

As principais fontes de efluentes domésticos em uma comunidade são as áreas residenciais e os distritos comerciais (METCALF e EDDY, 2002). A contribuição sanitária tem como origem o consumo de água pelos habitantes da bacia através do sistema público de abastecimento que importa a água de abastecimento de outras bacias. De maneira geral, a água consumida corresponde, aproximadamente, ao esgoto produzido (VON SPERLING, 2005). Nos Estados Unidos, cerca de 60 a 90% do consumo per capita corresponde ao esgoto produzido (METCALF & EDDY, 2002).

No entanto, a fração de esgotos que adentra a rede de coleta pode variar devido ao fato de que parte da água consumida pode ser incorporada à rede pluvial ou se dissipa na natureza. A fração que adentra a rede de coleta é denominada coeficiente de retorno (R), os valores típicos de R variam de 40% a 100% (VON SPERLING, 2005). Para projetos de rede de esgoto no Brasil, Azevedo Netto (1991) recomenda o valor de R entre 0,7 a 0,8, Tsutiya e Alem Sobrinho (2000) recomendam 0,5 a 0,9, enquanto que nos Estados Unidos Metcalf & Eddy (2002) recomenda o valor de 0,7 para coeficiente de retorno.

O SNIS (2015) define como consumo médio per capita de água o volume de água consumido, excluído o volume de água exportado,

dividido pela média aritmética da população atendida com abastecimento de água. Há uma ampla variação dos valores de consumo per capita no Brasil. A média aritmética dos últimos 8 anos para o município de Florianópolis é de 175 L/hab.dia (SNIS, 2015).

A contribuição per capita de esgoto é o consumo de água efetivo per capita multiplicado pelo coeficiente de retorno. É importante ressaltar que esse consumo de água é um parâmetro extremamente variável entre diferentes localidades, dependendo de inúmeros fatores como o clima da região, a abundância ou escassez de recursos, regularidade de abastecimento, além de outros diversos fatores culturais (TSUTIYA e ALEM SOBRINHO, 2000). A contribuição de aportes sanitários é calculada pela seguinte fórmula:

$$Q_{san} \left(\frac{L}{d} \right) = hab \times q_{pc} \left(\frac{L}{hab.d} \right) \times R \quad (1)$$

onde:

Q_{san} = Vazão sanitária

hab = número de habitantes

q_{pc} = consumo médio per capita de água

R = coeficiente de retorno

3.7 Qualidade da Água

O uso antrópico e ecológico de um corpo d'água depende da qualidade da água do ambiente. A ação do homem sobre a bacia hidrográfica afeta na qualidade da água drenante à bacia (CLAESSENS *et al.*, 2006).

A água, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a *qualidade da água* (VON SPERLING, 2005).

A qualidade da água de um corpo d'água é resultante das influências das características das bacias hidrográficas, tais como a geologia, uso e ocupação do solo e ainda sobre influência climatológica e atmosférica (BRICKER & JONES, 1995).

As características dos efluentes domésticos são bastante variadas em função das condições climáticas da região, dos hábitos da população e da situação econômica e social. Em geral os esgotos são compostos por 99,9% de água e o restante de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e microrganismos, como bactérias, fungos, protozoário, vírus e helmintos (VON SPERLING, 2005). A presença desses organismos nas águas pode provocar

diversas doenças no homens e animais, entre elas: disenteria bacilar, enterite, cólera, gastroenterite, leptospirose, febre paratifoide, salmonela, febre tifoide, hepatite infecciosa, doenças respiratórias, gastroenterite, meningite, poliomielite, disenteria amebiana, giardíase, criptosporidiose, balantídiase, ascaridíase e tricuriase (VON SPERLING, 2005).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004), dos 26 estados da Federação, apenas nove possuem sistemas de monitoramento de qualidade da água considerados ótimos ou muito bons; cinco possuem sistemas bons ou regulares, entre eles o estado de Santa Catarina; e treze apresentam sistemas fracos ou incipientes.

O Estado de Santa Catarina é considerado um dos estados com melhor qualidade de vida do Brasil, porém, em relação à coleta e tratamento de esgotos, somente 12% da população do Estado é atendida, classificando o Estado como o 13º pior do país em saneamento básico (ABES, 2010; DATASUS, 2013).

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e microbiológicas. Este trabalho irá dar enfoque às características microbiológicas, em especial *E. coli*, que indica a balneabilidade do corpo d'água segundo a resolução CONAMA nº 274/2000.

3.7.1 Coliformes

As bactérias do grupo coliformes são comumente utilizadas com a finalidade de indicar contaminação fecal no corpo d'água. Tais organismos são predominantemente não patogênicos, mas dão uma satisfatória indicação de quando uma água apresenta contaminação por fezes humanas ou de animais e, por conseguinte, da sua potencialidade para transmitir doenças (VON SPERLING, 2005). O grupo coliforme é dividido em 3 subgrupos: coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (*E. coli*), sendo que os coliformes termotolerantes são um subconjunto dos coliformes totais e *E. coli* um subconjunto dos termotolerantes.

3.7.1.1 Coliformes Totais

Coliformes totais constituem-se em um grande grupo de bactérias que foi bastante utilizado no passado como indicador de poluição, continuando a ser usado em algumas áreas, embora as dificuldades

associadas com a ocorrência de bactérias não-fecais seja um problema (THOMANN & MUELLER, 1987). Não existe uma relação quantificável entre coliformes totais e microrganismos patogênicos. Os coliformes totais podem ser entendidos, de forma simplificada, como coliformes “ambientais”, dada sua possível incidência em águas e solos não contaminados, representando, portanto, outros organismos de vida livre, e não intestinal, ou seja, não provindos de fontes antrópicas ou de animais, assim não devendo ser utilizado como indicador de contaminação fecal em águas superficiais (VON SPERLING, 2005)

3.7.1.2 Coliformes Termotolerantes

São um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários predominantemente do trato intestinal de animais de sangue quente. Este grupo compreende o gênero *Escherichia* e, em menor grau, espécies de *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter* (WHO, 1993).

O teste para coliformes termotolerantes é feito em uma elevada temperatura, objetivando a supressão de bactérias de origem não fecal (THOMANN & MUELLER, 1987). De qualquer forma, o teste de coliformes termotolerantes não dá garantia de que a contaminação seja realmente fecal, pois é possível, mesmo em elevadas temperaturas, a presença de bactérias de vida livre. (VON SPERLING, 2005)

3.7.1.3 *Escherichia coli*

A *Escherichia coli* é a principal bactéria do grupo de coliformes termotolerantes, sendo abundantes nas fezes humanas e de animais. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas a contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros (WHO, 1993).

Atualmente, há uma tendência em se utilizar predominantemente *E. coli* como indicador de contaminação fecal, por ser a única que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal, porém não dá garantia de que a contaminação seja humana, já que *E. coli* pode ser encontrada também em fezes de outros animais de sangue quente (VON SPERLING, 2005).

De acordo com Von Sperling (2005), a contribuição *per capita* de *E. coli* pode variar, em média, entre 10^8 e 10^{11} organismos/habitante.dia e sua concentração em esgoto bruto é na ordem de 10^5 a 10^8 NMP/100mL. Já Metcalf & Eddy (2002) considera a concentração de *E. coli* em esgoto bruto na faixa de 10^6 a 10^8 NMP/100mL.

3.7.2 Decaimento Bacteriano

As concentrações de bactérias são controladas principalmente por processos hidrodinâmicos e processos de decaimento bacteriano. Fatores que influenciam na concentração de bactérias incluem: transporte hidrodinâmico, diluição e sedimentação, luz solar, temperatura, salinidade, predação, concentração de nutrientes, substâncias tóxicas e outros fatores ambientais. (JI, 2008).

As bactérias do grupo coliforme têm no trato intestinal humano as condições ótimas para o seu crescimento e reprodução. Uma vez submetidos às adversas condições prevalentes no corpo d'água, eles tendem a decrescer em número, caracterizando assim o chamado decaimento (VON SPERLING, 2005).

Em águas limpas, a luz solar é um importante fator para o decaimento bacteriano. Há uma relação direta entre a intensidade da luz solar e a taxa de decaimento de coliformes, porém a capacidade da luz solar de remover patógenos é limitada devido à baixa penetração de radiação UV em certos casos (JI, 2008).

A temperatura é o mais importante modificador da taxa de decaimento, especialmente em água doce e sem a presença de radiação. A taxa de decaimento de patógenos, como *E. coli*, é proporcional à salinidade em águas salobras/salgadas (JI, 2008).

A taxa de decaimento bacteriana é geralmente estimada pela lei de Chick, segundo a qual a taxa de remoção é diretamente proporcional à concentração de bactérias (reação de primeira ordem) (VON SPERLING, 2005):

$$\frac{dN}{dt} = -K_b \cdot N \quad (2)$$

A fórmula para o cálculo da concentração de coliformes após um tempo (t) depende do regime hidráulico do corpo d'água. Rios são usualmente representados como reatores de fluxo em pistão, podendo-se adotar a seguinte fórmula:

$$N = N_0 \cdot e^{-K_b \cdot t} \quad (3)$$

onde:

N = número de coliformes (NMP/100mL)

N₀ = número de coliformes inicial (NMP/100mL)

K_b = coeficiente de decaimento bacteriano (d⁻¹)

t = tempo (d)

A cinética de mortandade conduz a que quanto maior a concentração de organismos, maior a taxa de remoção, fazendo com que a taxa de mortalidade dN/dt seja mais rápida em rios poluídos do que nos limpos (ARCEIVALA, 1981)

Os valores de K_b obtidos em diversos estudos em água doce variam numa ampla faixa. Para a temperatura de 20°C os valores típicos de K_b estão entre 0,5 a 1,5 d^{-1} (ARCEIVALA, 1981; EPA, 1985; THOMANN e MUELLER, 1987; VON SPERLING, 2005)

O efeito da temperatura no coeficiente de decaimento dos microrganismos pode ser formulado através de (VON SPERLING, 2005):

$$K_{b_T} = K_{b_{20}} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (4)$$

onde:

$\theta = 1,07$ (valor médio coeficiente de temperatura (THOMANN & MUELLER, 1987))

T = temperatura (°C)

A fórmula mais completa para calcular K_b foi formulada por Mancini (1978), e incorpora salinidade, temperatura e radiação para o seu cálculo, além do coeficiente de extinção vertical da luz, e é dada por:

$$K_b = [0,8 + 0,006 \times (\% \text{água do mar})] \times 1,07^{T-20} + \frac{\alpha I_o(t)}{K_e H} (1 - e^{K_e H}) + \frac{v_s}{H} \quad (5)$$

e

$$K_e = \frac{1,8}{Z_s} \quad (6)$$

onde:

$I_o(t)$ = radiação solar na superfície ($cal/cm^2 \cdot h$)

α = constante de proporcionalidade

K_e = coeficiente de extinção da luz solar

H = profundidade onde é feita a medida (m)

v_s = taxa de perda de bactérias em particulados (m/dia)

Z_s = profundidade de Secchi (m)

3.7.3 Balneabilidade

Balneabilidade pode ser definida como a qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário, sendo este entendido como o contato direto e prolongado com a água (natação, mergulho, esqui-aquático, etc.), onde há a possibilidade de ingerir quantidades apreciáveis de água (CETESB, 2011).

A análise de balneabilidade tem como objetivo controlar a qualidade das águas avaliando a presença de indicadores de poluição fecal e o risco potencial de se contrair doenças infecciosas a partir do contato primário com as águas.

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 274/2000 estabelece além dos limites de balneabilidade para coliformes termotolerantes e coliformes totais, limites para estreptococos e/ou *E. coli*. Os padrões podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de balneabilidade da resolução CONAMA nº 274/2000

Balneabilidade - categoria		Padrões para o corpo d'água
Própria	Excelente	Máximo de 250 CF/100mL ⁽¹⁾ ou 200 EC/100mL ⁽³⁾ ou 25 Enterococos/100mL ⁽⁴⁾ em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores
	Muito Boa	Máximo de 500 CF/100mL ou 400 EC/100mL ou 50 Enterococos/100mL em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores
	Satisfatória	Máximo de 1000 CF/100mL ou 800 EC/100mL ou 100 Enterococos/100mL em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores
Imprópria		a) Não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias
		b) Incidência elevada ou anormal, na região de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicadas pelas autoridades sanitárias
		c) Valor obtido na última amostragem superior a 2500 CF/100mL ou 2000 EC/100mL ou 400 Enterococos/100mL
		d) Presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias capazes de oferecer risco à saúde ou tornar desagradável a recreação
		e) pH <6,0 ou pH>9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais
		f) Floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana
		g) Outros fatores que contraindiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário
		(1) CF: Coliformes fecais (termotolerantes) (2) CT: Coliformes totais (3) EC: <i>Escherichia coli</i> (4) Os padrões de enterococos aplicam-se somente às águas marinhas

Fonte: BRASIL, 2000

4. ÁREA DE ESTUDO

Com o objetivo de contextualizar a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, neste item serão levantadas e descritas as características da área relevantes para o presente trabalho.

4.1 Localização

A bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição está localizada na região centro-leste da Ilha de Santa Catarina, e alimenta um corpo d'água que possui forma alongada no sentido norte-sul, medindo 13,4 km de comprimento e largura variável entre 0,15 e 2,5 km (SILVA, 2013). Ao Sul encontra-se a porção denominada Lagoa de Baixo, que se conecta com o restante da laguna a partir de uma estreita passagem de cerca de 5 metros de largura. Ao Leste encontra-se o Canal da Barra da Lagoa, que liga a laguna com o oceano atlântico por um canal de 2,8 km. A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo.

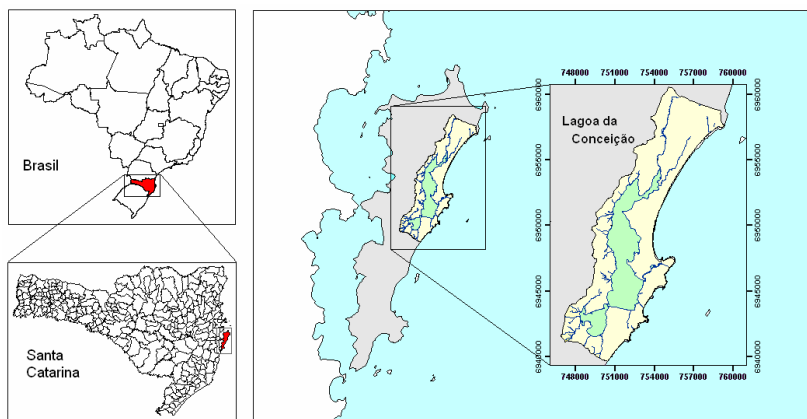


Figura 1 – Localização da área de estudo. Fonte: SILVA, 2010

4.2 Área

De acordo com Bier (2013), a área superficial da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição totaliza 61,77 km². As duas maiores sub-bacias, João Gualberto e Rio Vermelho, situadas ao norte da bacia, possuem 15,52 e 8,70 km² respectivamente, as quais representam 35% da área total.

4.3 Clima

Florianópolis apresenta as características climáticas inerentes ao litoral sul brasileiro. As estações do ano são bem caracterizadas, verão e inverno bem definidos, sendo o outono e a primavera representados por valores aproximados entre si. A precipitação é bastante significativa e bem distribuída durante o ano (HERMANN *et al.*, 1987)

O Gráfico 1 apresenta as normais climatológicas de temperatura média e precipitação mensal para o período de 1961 a 1990, fornecidos pelo INMET (2015). O mês de fevereiro apresenta a maior média de temperatura mensal, atingindo 24,6°C, já o mês de julho apresenta a menor média de temperatura mensal, chegando a 16,5°C. De maneira geral, as chuvas são bem distribuídas durante o ano, com os meses de verão apresentando médias pluviométricas um pouco mais elevadas, chegando a 197 mm acumulados em fevereiro, enquanto que nos meses de inverno as médias de precipitação mensais se mantêm na faixa de 90 mm por mês.

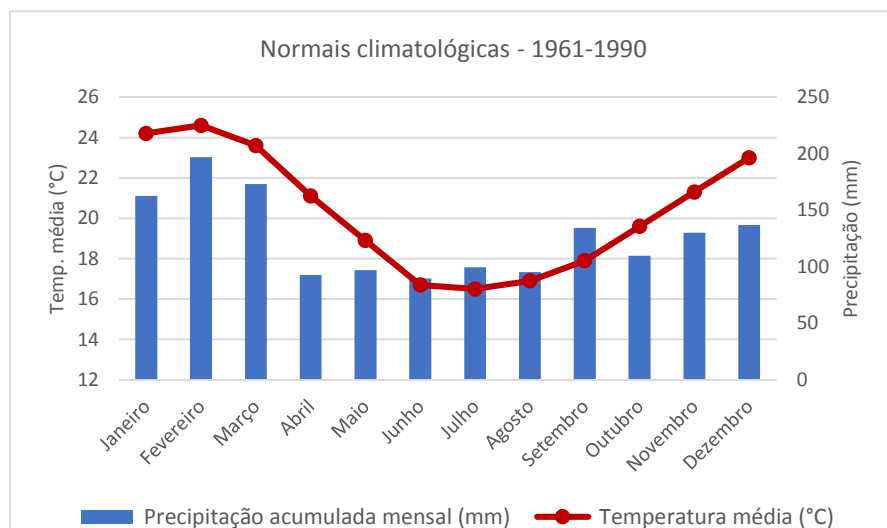


Gráfico 1 – Normais climatológicas de 1961 a 1990 para Florianópolis/SC.
Fonte dados: INMET (2015)

4.4 Hidrologia e Hidrografia

De acordo com a classificação descrita no item 3.1, o corpo hídrico da Lagoa da Conceição pode ser classificado como uma laguna sufocada devido à conexão com o Oceano Atlântico através de um canal de 2,8 km de comprimento, formando um sistema estuarino. Este canal é denominado popularmente de Canal da Barra da Lagoa, e promove o fluxo de água entre a laguna e o oceano, tornando a água do ambiente uma mistura de água doce e salobra.

Segundo Porto Filho (1993), o Canal da Barra da Lagoa teve seu fluxo garantido a partir de 1982, em virtude de sua dragagem, retificação e posterior fixação com a construção de molhes na Barra da Lagoa. Antes destas intervenções, ocorria frequentemente o fechamento da barra do canal por bancos de sedimentos arenosos devido ao comportamento apresentado pela sua antiga hidrodinâmica, o que dificultava a navegabilidade dos pescadores e inibia os processos de trocas e renovação de águas interiores. Dragagens foram realizadas nos anos de 1954, 1955 e 1968 (as duas primeiras pelo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis e a última pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamentos), que foram seguidas pela obra de construção do enrocamento entre os anos de 1982 e 1985. Nova dragagem sucedeu a construção dos molhes em 1985, quando o fundo do canal, até sua conexão com a Lagoa, foi aprofundado até a cota de aproximadamente 3,00 m (FATMA, 1973 apud BARBOSA, 2003).

A partir de geoprocessamento utilizando mapa hipsométrico e topográfico da bacia, Bier (2013) delimitou 60 sub-bacias com seus respectivos pontos de exutória e linhas de drenagem. A validação dos pontos de descarga foi feita a partir de comparação dos dados com um estudo intitulado *Registro visual e georreferenciado por GPS de contribuições hidrológicas pontuais à Lagoa da Conceição* de LAURENTI (2009), realizado pela equipe do Laboratório de Hidráulica Marítima (LAHIMAR) da UFSC, por meio de saídas de campo utilizando embarcação, percorrendo toda a orla lagunar. A partir dos dados levantados para cada sub-bacia, Bier (2013) realizou um agrupamento de sub-bacias levando em consideração suas características espaciais (localidade) e características físicas da bacia (declividade média do talvegue, tipo de solo, uso e ocupação do terreno e tempo de concentração).

A Figura 2 exibe a delimitação das 60 sub-bacias delimitadas por Bier (2013).

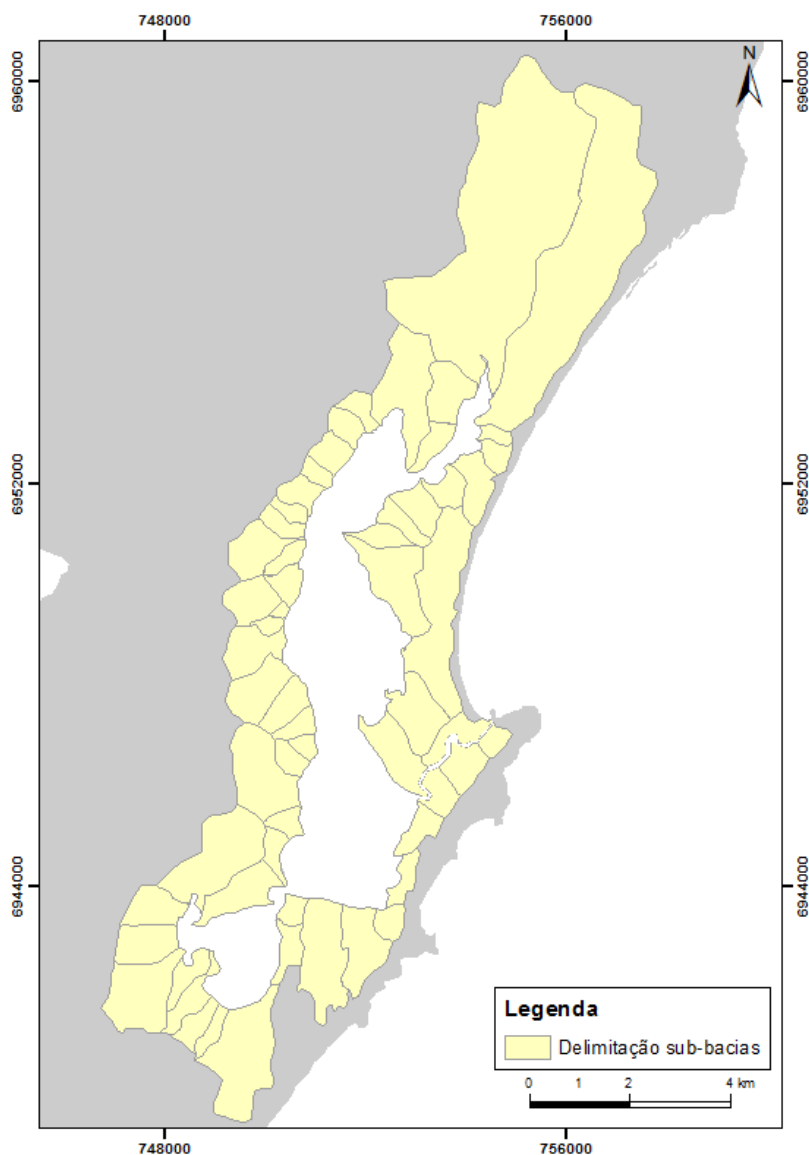


Figura 2 – Delimitação das sub-bacias.
Fonte: Adaptado BIER (2013)

4.5 Unidades de Resposta Hidrológica (URH)

Por meio da análise de agrupamento dos diversos comportamentos hidrológicos resultados de geoprocessamento, Bier (2013) setorizou a bacia da Lagoa da Conceição em zonas de mesmas características morfométricas e hidrológicas a fim de distinguir de forma concreta os diversos comportamentos hidrológicos da bacia hidrográfica e facilitar a interpretação do espaço físico da Lagoa da Conceição. A bacia hidrográfica foi dividida em seis URH distintas, englobando sub-bacias de características e comportamentos semelhantes (Figura 3 e Tabela 2). Sendo elas:

- **Norte:** compreende as duas maiores sub-bacias (João Gualberto e Rio Vermelho). Possuem valores medianos para declividade média de talvegue e urbanização, entretanto a área superficial das duas sub-bacias corresponde aproximadamente 35% da área total da bacia hidrográfica, o que faz com que a contribuição hidrológica deste setor tenha grande relevância.
- **Leste:** sub-bacias com alta infiltração, devido ao tipo de solo presente (areias quartzóicas e marinhas) e baixa ocupação urbana. A declividade do talude é praticamente plana neste setor, acarretando uma contribuição hidrológica quase nula para a laguna, sendo que praticamente toda chuva que precipita nesta unidade infiltra no solo, inclusive nas condições de umidade do solo elevada.
- **Canal:** setor com elevada urbanização (média de aproximadamente 15%), o que implica em uma elevada impermeabilização, mesmo que o tipo de solo se caracterize por ser composto por areias marinhas. Considerando que grande parte do escoamento superficial neste setor é descarregada no próprio canal da Barra da Lagoa, que liga a Lagoa da Conceição com o Oceano Atlântico, o volume total escoado é mínimo.
- **Arenosa:** URH que apresenta características de solo bastante permeáveis, com predomínio de dunas, areias marinhas e areias quartzóicas. Entretanto, esta URH apresenta urbanização considerável, o que faz com que tenha uma impermeabilização mediana.
- **Centro-sul:** zona que engloba a parte mais urbanizada da bacia hidrográfica (Centro e Canto da Lagoa), possui elevada impermeabilização e mediana de declividade média do talvegue. Possui uma contribuição hidrológica relevante, sem contar as descargas que a laguna recebe de contribuição antrópicas.

- **Oeste:** setor com maior número de sub-bacias, as quais caracterizam-se por serem pequenas comparadas com as restantes, bem arborizadas, com baixa urbanização e alta declividade média do talvegue. Mesmo possuindo uma vegetação densa, o que proporciona uma interceptação da chuva, o tipo de solo na totalidade do setor é o argissolo, que proporciona baixa infiltração da água e consequente um elevado escoamento superficial. Sendo assim, este setor é responsável por grande parte da contribuição hidrológica que é descarregada no corpo hídrico da Lagoa da Conceição, distribuída por uma longa faixa.

A Figura 3 demonstra a divisão das 6 URHs da bacia hidrográfica.

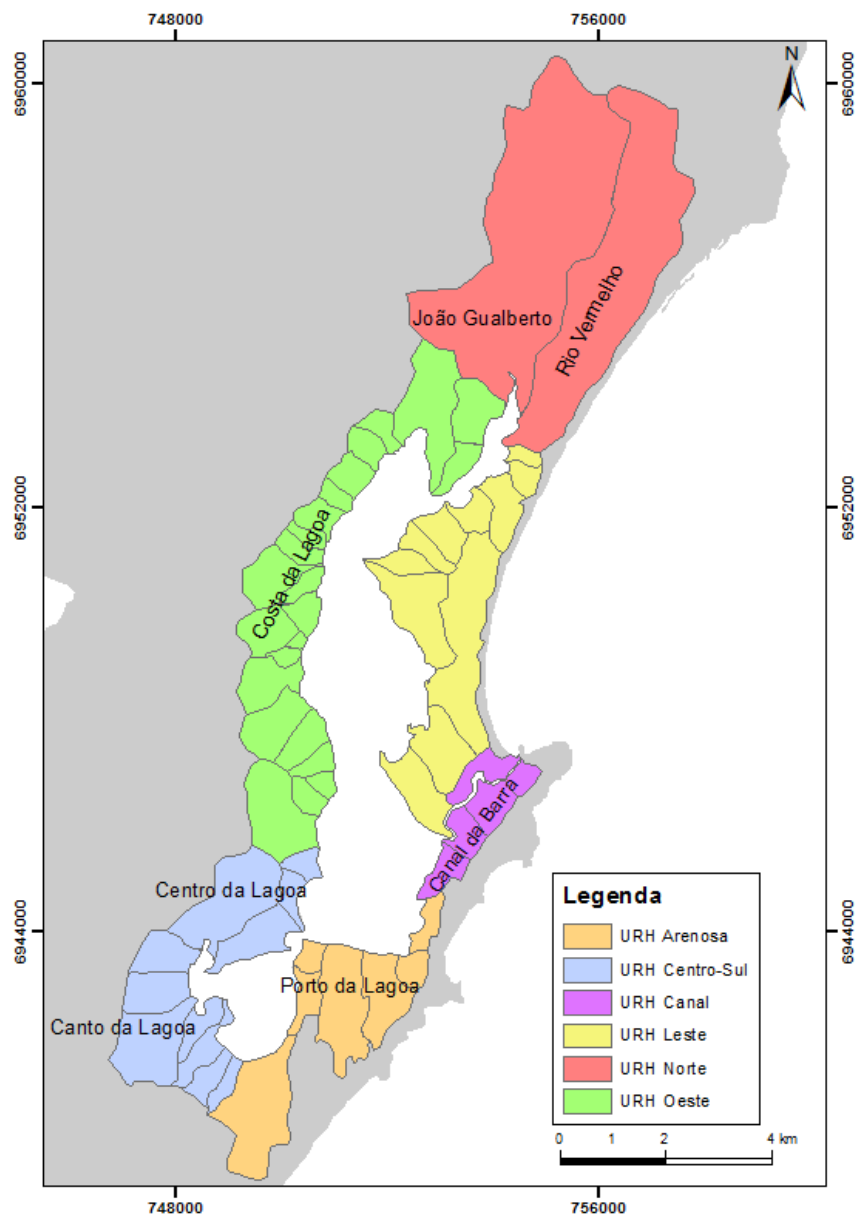


Figura 3 – Divisão da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição em URHs. Fonte: Adaptado BIER (2013).

As características das URHs são apresentadas na Tabela 2

Tabela 2 - Características das URHs da Lagoa da Conceição.

URH	Nº sub-bacias	Área		Solo Predominante	Urbanização	Decliv.
-	#	km²	%	-	%	m/m
Norte	2	21	34	Argissolo/Areias Quartzólicas	9,4	0,021
Leste	11	10	16	Areias Quartzólicas	2,2	0,005
Canal	5	2,3	3,80	Areias Marinhas	15,2	0,192
Arenosa	7	6,6	11	Dunas/Areias Quartzólicas	10,7	0,052
Centro-sul	11	8,6	14	Argissolo/Areias Quartzólicas	13,4	0,19
Oeste	24	13	21	Argissolo	0,6	0,304

Fonte: Adaptado BIER (2013)

4.6 Uso e Ocupação do Solo

Lemétayer (2011) desenvolveu o mapeamento de uso e ocupação do solo da bacia da Lagoa da Conceição a partir de imagens dos anos 2001 e 2010, provenientes do satélite IKONOS e adquiridas pelo LAHIMAR. O mapeamento permitiu calcular e acompanhar a evolução do percentual da área urbana, vegetação arbórea e rasteira, corpos d'água, dunas e vias.

4.7 Tipos de Solo

Segundo dados da EMBRAPA (2004), os solos predominantes na bacia da Lagoa da Conceição são: o solo arenoso de dunas, areias quartzosas álicas, os gleissolo pouco húmico, os organossolos, os

argissolos e as areias quartzosas marinhas álicas. A Figura 4 mostra a distribuição espacial dos tipos de solo presentes na bacia hidrográfica. Na porção oeste há a predominância do argissolo, já nas porções nordeste, leste e sudeste, destacam-se a presença de solos arenosos.

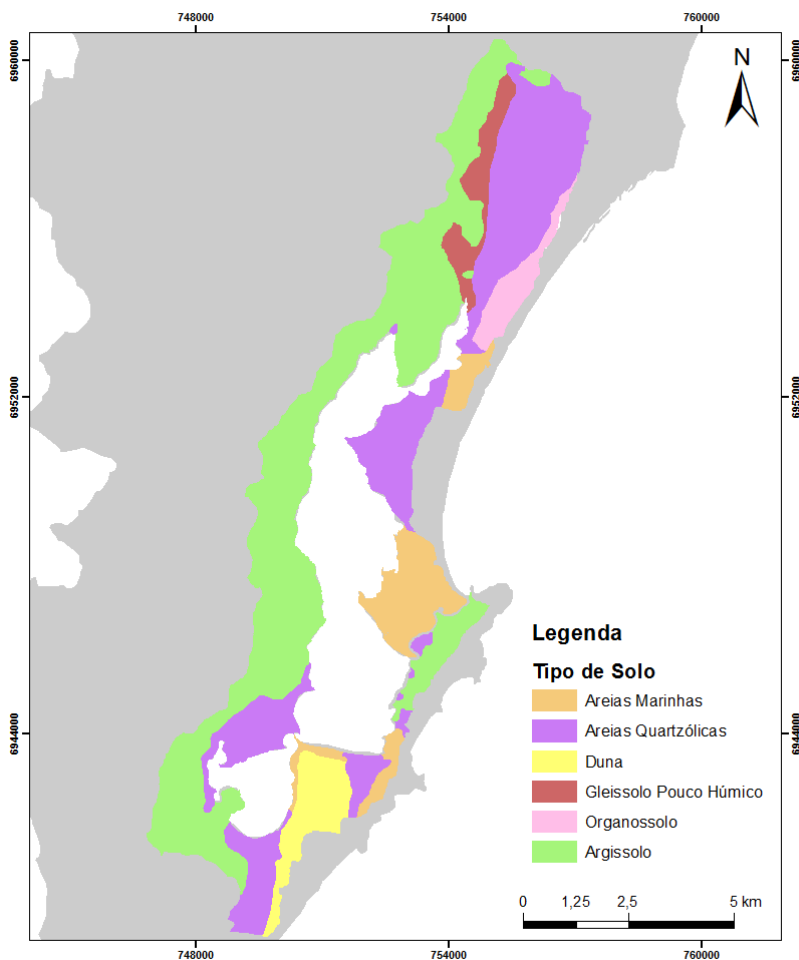


Figura 4 - Tipos de solo na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. Fonte de dados: EMBRAPA (2004)

4.8 População por Sub-bacias

Os aspectos demográficos são separados em duas categorias distintas: (i) População residente, que abrange o grupo de pessoas residentes na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição durante a maior parte do ano; e (ii) População Flutuante, que abrange as pessoas que estão de passagem, ou que permanecem por um curto período de tempo na região.

Com a intensa atividade turística na região no período de veraneio, a Ilha de Santa Catarina, e principalmente, a Lagoa da Conceição, apresentam uma dinâmica populacional diferenciada nos meses de verão (dezembro a março), denominada de Alta Temporada, onde o movimento de pessoas se eleva consideravelmente. Em contrapartida, nos meses de inverno, o movimento turístico diminui significativamente, permanecendo praticamente a população residente local (Baixa Temporada).

Campanário (2007) realizou um estudo onde trouxe uma projeção da população residente por bairros de Florianópolis, desde 2000 até 2050. Além disso, o estudo ainda contemplou uma estimativa de população flutuante para cada distrito da cidade.

Com os dados de população por bairros e distritos de Campanário (2007), assim como dados de uso e ocupação de solo de Lemétayer (2011), Silva (2013) realizou uma sobreposição das informações, permitindo estimar a área urbana de cada um dos bairros que compõem a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, determinando assim, a população residente e flutuante por sub-bacia para os anos 2001 e 2010.

4.9 Sistema de Esgotamento Sanitário

Existem dois sistemas de esgotamento sanitário na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, o Sistema Lagoa da Conceição e o Sistema Barra da Lagoa.

A Tabela 3 apresenta os dados dos sistemas, bem como, o tipo de tratamento e destinação final para o ano de 2010. A Figura 5 mostra as sub-bacias contempladas com coleta e tratamento de esgoto no ano de 2010. Vale salientar que a figura apenas representa as bacias contempladas, e não a área abrangida pela a rede. Embora os dados correspondam ao ano de 2010, não houve ampliação do sistema até o presente momento.

Tabela 3 - Dados dos SES da bacia da Lagoa da Conceição

Sistema de Esgotamento Sanitário	Lagoa da Conceição	Barra da Lagoa
Administração	CASAN	CASAN
Ano de Início da Operação	1988	2006 (*)
Região	Bairros Dunas da Lagoa, Retiro da Lagoa, Canto da Lagoa e Lagoa da Conceição	Bairros Barra da Lagoa e Costa da Lagoa
População atendida	7.932	4.165
Ligações Prediais	2.003	1.190(*)
Economias	3.259	1.821(*)
Extensão da Rede Coletora (m)	25.524	21.164(*)
Extensão dos Interceptores (m)	Não tem	Não tem
Quantidade de Estações Elevatórias	9	5(*)
Quantidade de Emissários	9	5(*)
Estação de tratamento de Esgoto	ETE Lagoa da Conceição	ETE Barra da Lagoa
Tipo de Tratamento	UASB+Valos de oxidação	UASB+Lodos Ativados+Desinfecção
Máx pop. Atendida ETE	21.600	15.120
Destino final	Infiltração no solo (Dunas da Lagoa)	Infiltração no solo (Parque Florestal)

(*) Dados Somente do Bairro Barra da Lagoa

Fonte: PMISB (MPB, 2010)

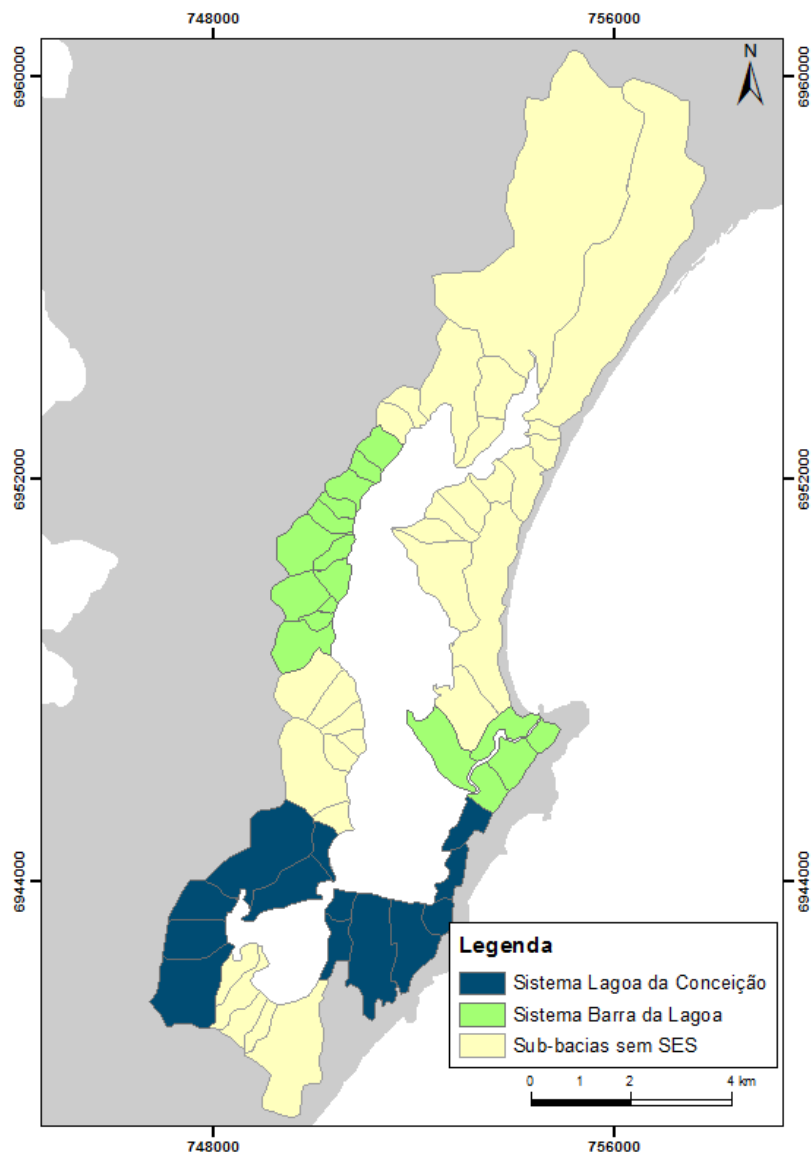


Figura 5 - Sub-bacias com coleta e tratamento público de esgoto
Fonte: PMISB (MPB, 2010)

Segundo o PMISB (MPB, 2010), o município enfrenta diversos problemas quanto ao funcionamento da rede coletora, que se iniciam desde a fase de sua implantação. A Operadora ao concluir as obras de implantação da rede coletora e das ligações prediais até o passeio (trecho do ramal predial externo mais caixa de inspeção), passou a cobrar pelos serviços a partir do início da operação do sistema, não fiscalizando se o usuário fez corretamente a ligação domiciliar (trecho do ramal interno – imóvel até a caixa de inspeção no passeio). Desta forma, mesmo com a rede coletora implantada, existem diversas situações irregulares como: (i) existência de ligações de esgoto na rede de drenagem; (ii) existência de vazamento de esgoto; e (iii) existência de ligações de drenagem na rede coletora de esgoto ocasionando o aumento da vazão.

Como pode ser visto, o SES não atende toda a área urbana da bacia, locais com alta urbanização, como o bairro Rio Vermelho e Porto da Lagoa (Figura 3), ainda não são contemplados com rede de coleta de esgoto.

Segundo o PMISB (MPB, 2010), nas regiões onde não há rede pública de esgotamento sanitário, deve ser realizado o tratamento de forma individual, não havendo um cadastro atualizado que permita quantificar o tipo de tratamento e destinação final realizado nestes locais, existindo muitas irregularidades. Assim, não é conhecido o número de habitações atualmente que dispõem o esgoto sanitário através de fossas sépticas sem a observância das normas da ABNT e sem a manutenção periódica necessária.

A falta de controle e fiscalização na implantação e operação das soluções individuais tem como consequência a possível contaminação dos corpos hídricos, acarretando decréscimo na qualidade da água e, por conseguinte, problemas de saúde pública.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho, foi feito um monitoramento de parâmetros ambientais em cinco sub-bacias específicas. Foi feito a quantificação das vazões e concentrações de *E. coli* em cada sub-bacia monitorada. A partir de levantamento bibliográfico de dados de população por sub-bacia, foi possível estimar as cargas *per capita* de *E. coli* nas sub-bacias monitoradas. Com o agrupamento de sub-bacias em Unidades de Resposta Hidrológica, realizado por Bier (2013), foi realizado uma extrapolação das cargas *per capita* a fim de estimar as cargas de *E. coli per capita* por região. A partir da análise de balneabilidade realizada a partir do monitoramento da FATMA e a modelagem hidrodinâmica feita por Silva (2013), foi realizada a análise espaço-temporal de balneabilidade, relacionando as cargas de *E. coli* por sub-bacias e a hidrodinâmica local. A Figura 6 apresenta o fluxograma da metodologia aplicada.

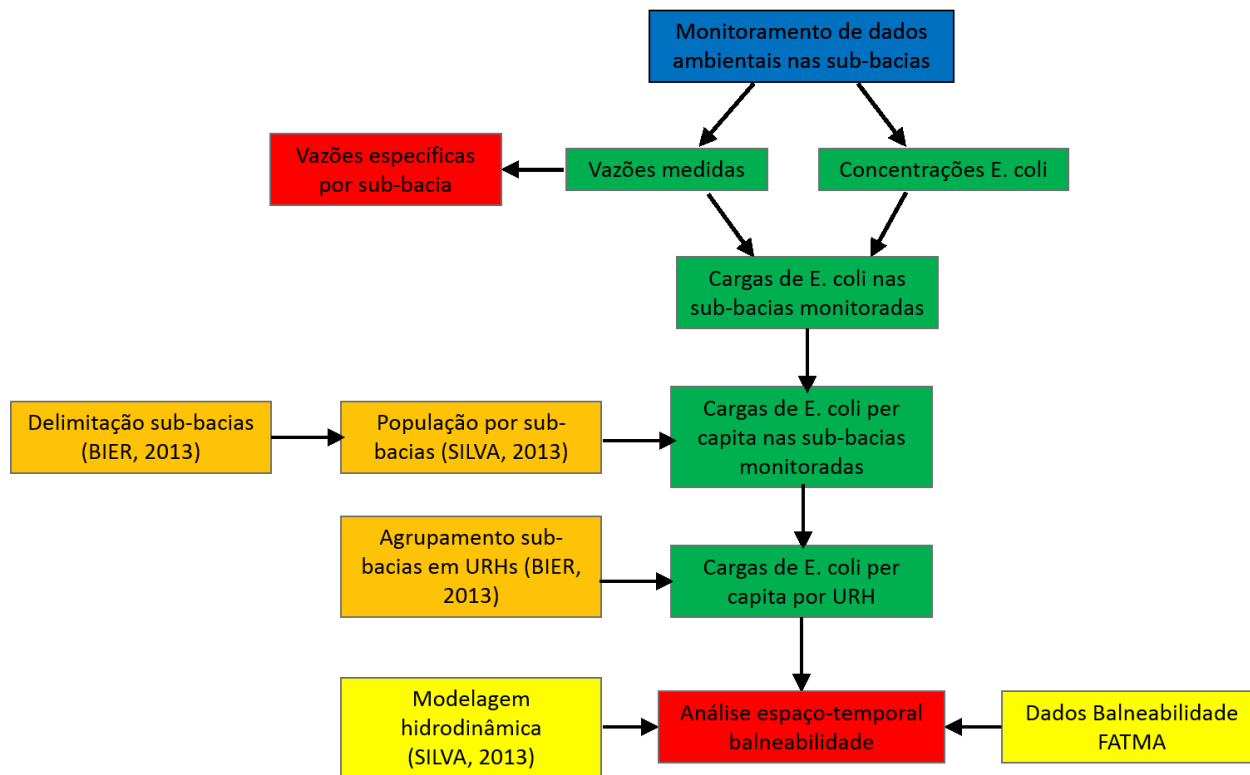


Figura 6 - Fluxograma da metodologia aplicada

5.1 Contribuição Hidrológica

O corpo hídrico da Lagoa da Conceição é alimentado pelas precipitações pluviométricas (águas das chuvas), pelo Oceano Atlântico, através do Canal da Barra da Lagoa e pela contribuição hidrológica, através de pequenos rios ao longo da bacia hidrográfica.

Além da contribuição a partir do escoamento superficial, é de conhecimento de que há presença de descargas de água subterrânea na laguna. Estudos em lagoas costeiras mostram que estes aportes subterrâneos respondem por significativa parcela do abastecimento lacustre e costeiro e também em seus ciclos geoquímicos (ROCHA, 2014; MULLIGAN & CHARETTE, 2008).

Como descrito anteriormente, Bier (2013) realizou a delimitação de 60 sub-bacias (Figura 2) e seus pontos de exutória e classificou as bacias em perenes e intermitentes de acordo com observações de campo, chegando ao resultado de 29 sub-bacias perenes e 31 sub-bacias intermitentes.

Para a compreensão da dinâmica da bacia da Lagoa da Conceição faz-se necessário a quantificação da contribuição hidrológica através do escoamento superficial em rios e riachos. A quantificação da contribuição hidrogeológica não é o escopo desse trabalho.

5.2 Aporte de Efluentes Sanitários por Sub-bacia

Nas bacias urbanizadas, foram determinados aportes devido à água de abastecimento e esgoto sanitário, sabendo que essas contribuições infiltram e alimentam os cursos d'água em períodos de estiagem.

A estimativa foi realizada considerando a população residente em cada sub-bacia (item 4.8) e o consumo médio de água potável por habitante.

Segundo o SNIS (2015), a média do consumo médio per capita de água (q_{pc}) para Florianópolis nos últimos 8 anos foi de $175 \text{ L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Não foi considerado coeficiente de retorno visto que a parcela utilizada para consumo humano, seja por ingestão direta ou por meio de refeições, é insignificante e que as águas que iriam para a rede pluvial (regio de jardins, lavagem de carros, entre outros) infiltram para a bacia ou são incorporadas à rede pluvial, que contribuem como aporte de água para a bacia.

Por não se ter certeza da funcionalidade da rede coletora de esgoto e da aderência da população em utiliza-la, assim como a presença de ligações clandestinas na rede pluvial, foi considerado que toda a vazão

sanitária contribui para os corpos d'água, ou seja, toda a água importada de uma bacia externa como água para consumo contribui como aporte sanitário na Lagoa da Conceição.

O cálculo da vazão sanitária é dado por:

$$Q_{san} \left(\frac{L}{d} \right) = hab \times q_{pc} \left(\frac{L}{hab.d} \right) \quad (7)$$

onde:

Q_{san} = Vazão sanitária (L/d)

Hab = População

Q_{pc} = Consumo *per capita* (L/hab.d)

5.3 Campanhas de Monitoramento dos Dados Ambientais

Para a quantificação da contribuição hidrológica e qualidade da água dos rios afluentes à laguna, realizou-se o monitoramento de cinco sub-bacias, sendo quatro sub-bacias urbanizadas e uma sub-bacia onde não há praticamente interferência antrópica, com a finalidade de comparação entre as contribuições e cargas em sub-bacias com diferentes características. Os pontos foram nomeados em virtude da localização da sub-bacia onde se encontram, podendo serem observados na Figura 7, sendo eles:

- Rio João Gualberto (JG);
- Porto da Lagoa (Porto);
- Canto da Lagoa (Canto);
- Centro da Lagoa (Centro);
- Costa da Lagoa (Costa).

A localização e características dos pontos de monitoramento são apresentados na Tabela 4. As campanhas foram realizadas a cada 3 semanas, iniciando em 23/03/2015 com término em 23/10/2015, totalizando 10 campanhas.

Foram realizados cinco procedimentos nas campanhas de monitoramento: aferição do nível do corpo d'água, medidas de vazão, levantamento de parâmetros físico-químicos de campo, coleta de água para análise de coliformes e análise laboratorial.

Tabela 4 – Localização e características dos pontos de monitoramento de dados ambientais

Ponto/Sub-bacia	URH	Área sub-bacia (km²)	População residente (2010)	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
Centro	Centro sul	2,17	2.522	748.773	6.943.984
Canto	Centro sul	1,68	416	748.184	6.942.416
Costa	Oeste	0,96	-	750.499	6.950.823
Porto	Arenosa	2,37	5.019	749.964	6.941.444
JG	Norte	12,52	9.070	754.171	6.954.941

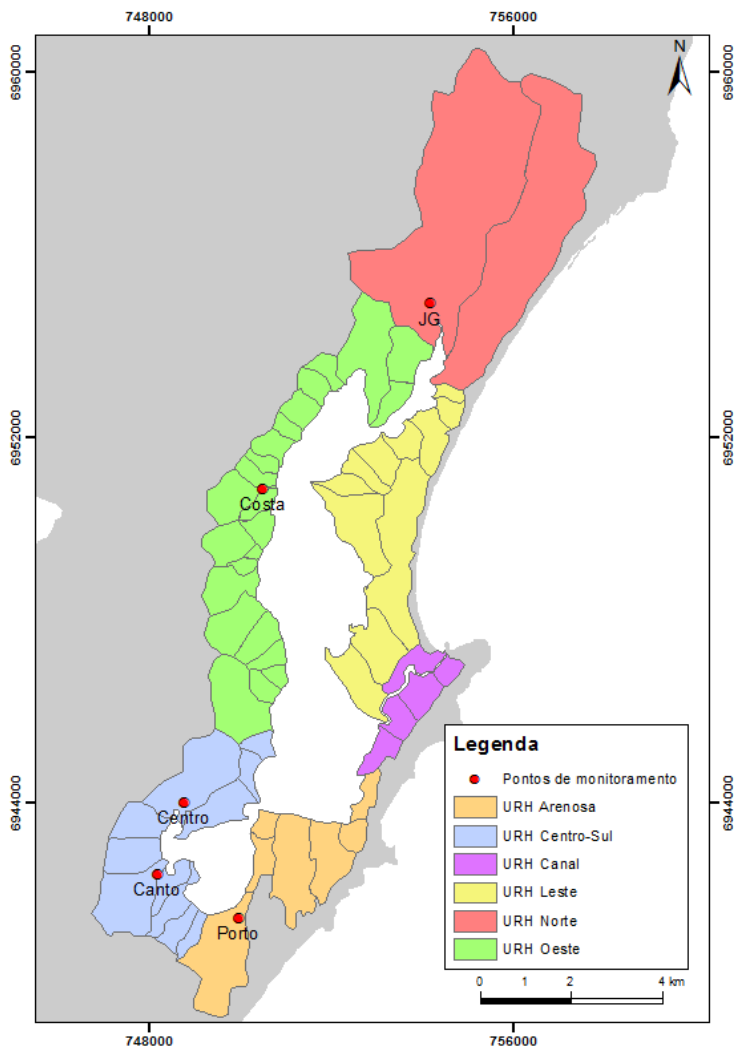


Figura 7 - Localização dos pontos de monitoramento de dados ambientais

5.3.1 Tipo de Solo das Sub-bacias Monitoradas

A partir dos dados obtidos por Lemétayer (2011), foram levantados os tipos de solos presentes nas sub-bacias monitoradas. A Tabela 5 sintetiza as informações.

Tabela 5 – Tipo de solo das sub-bacias monitoradas

Bacia / Tipo de Solo	Areias Quartzólicas	Duna	Gleissolo pouco húmico	Argissolo
Centro	43%			57%
Canto	6%			94%
Costa				100%
Porto	64%	27%		8%
JG	33%		19%	45%

Fonte: LEMÉTAYER (2011)

5.3.2 Uso e Ocupação das Sub-bacias Monitoradas

De acordo com o mapeamento de uso e ocupação do solo desenvolvido por Lemétayer (2011), foi sintetizado o percentual da área urbana, vegetação arbórea e rasteira, corpos d'água, dunas e vias para as sub-bacias monitoradas, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Uso e ocupação das sub-bacias monitoradas

Bacia / Ocupação	Urbano	Vegetação rasteira	Vegetação arbórea	Via	Duna com vegetação
JG	11%	40%	47%	1%	
Porto	23%	16%	24%	1%	32%
Canto	1%	10%	89%		
Centro	15%	20%	62%	3%	
Costa		22%	78%		

Fonte: LEMÉTAYER (2011)

5.3.3 Características Morfométricas das Sub-bacias Monitoradas.

A partir de técnicas de geoprocessamento, Bier (2013) avaliou as características morfométricas das 60 sub-bacias definidas na bacia da Lagoa da Conceição. A Tabela 7 apresenta os dados sintetizados para as cinco sub-bacias monitoradas.

Tabela 7 – Características morfométricas das sub-bacias monitoradas

	Compr. Canais (km)	Compr. rio principal (km)	Elevação (m)	Decliv. Talvegue (m/m)	Ocupação Urbana	TC (min)
Centro	3,36	2,14	294	0,116	14,7%	19,5
Canto	3,41	2,15	371	0,152	0,8%	16,4
Costa	1,73	1,54	358	0,196		11,9
Porto	4,14	2,85	78	0,025	19,4%	34,5
JG	22,35	6,84	168	0,023	11,0%	77,2

Fonte: BIER (2013)

5.3.4 Estimativa dos Aportes Fluviais

A medição das vazões de pequenos cursos de água apresenta dificuldades devido à rapidez com que as mesmas variam. A curta duração de ondas de cheia obriga, nesse caso, a trabalhos sistemáticos e contínuos. De modo geral, o maior problema reside na escolha da seção apropriada que permita uma correlação segura entre os níveis de água e as vazões (GARCEZ & ALVAREZ, 1988)

Para quantificar a estimativa das vazões dos rios que desembocam na laguna, foram feitas medições da velocidade do escoamento e da área da seção nas sub-bacias escolhidas. A Figura 8 apresenta as fotos das seções monitoradas.



Figura 8 - Seções de monitoramento. A) Centro da Lagoa; B) JG; C) Porto da Lagoa; D) Costa da Lagoa; E) Canto da Lagoa

A medição de velocidade do escoamento superficial dos rios em 4 sub-bacias foi feita através do método do flutuador, que consiste na demarcação de duas seções com distância definida e batimetrias conhecidas, onde é feito o lançamento de um objeto de deriva que se desloca na superfície do corpo d'água da seção de montante até a seção de jusante. O tempo de deslocamento entre as seções é medido e utilizado para calcular a velocidade do escoamento do rio entre as duas seções. As medidas foram feitas em 5 réplicas e calculada a média entre elas.

Há diversas incertezas na estimativa da velocidade pelo método do flutuador, é de conhecimento que a velocidade da água em uma seção é variável de ponto a ponto e ao longo do tempo. Fatores como vegetação, folhas de árvores presentes na água, tipo de fundo, vento e imprecisão na contagem do tempo de deslocamento afetam na qualidade do resultado. Porém, o método por ser simples, fácil e barato se apresentou viável para uma estimativa preliminar.

O flutuador utilizado foi uma garrafa pet de 500mL. Procurou-se completa-la com água de uma maneira que a mesma ficasse parcialmente imersa na água, assim derivando com a velocidade do rio, evitando-se o efeito do vento e também não atingindo o leito do rio.

O levantamento batimétrico das seções consistiu em medir a profundidade da seção transversal do rio a cada 30 cm com o auxílio de uma trena. Nos pontos que apresentavam variações abruptas de batimetria foram medidas as profundidades entre distâncias menores na seção. Em cada campanha obteve-se o nível de água em um ponto de referência, de um modo que se calcula a área da seção de acordo com a batimetria e nível de água (Figura 9).

Houve impedimento do acesso à seção da sub-bacia do Canto da Lagoa em 4 campanhas. A seção se encontrava em uma propriedade privada onde o proprietário impediu acesso ao local pela equipe de campo. Foi então encontrada uma seção aproximadamente 30 metros a montante e no dia 10/07 iniciada campanha de monitoramento em nova seção.

Mesmo nos dias em que a equipe não teve acesso a seção, foram coletadas amostras de água em uma seção à montante, podendo assim inferir sobre as concentrações de coliformes.

A partir do dia 10/09/2015 a seção do Porto da Lagoa apresentou mudança em sua seção devido à sedimentos e vegetação carreados após uma intensa chuva. Foi então realizada outra batimetria a fim de obter a área da nova seção. A Figura 9 apresenta as seções obtidas nos levantamentos batimétricos.

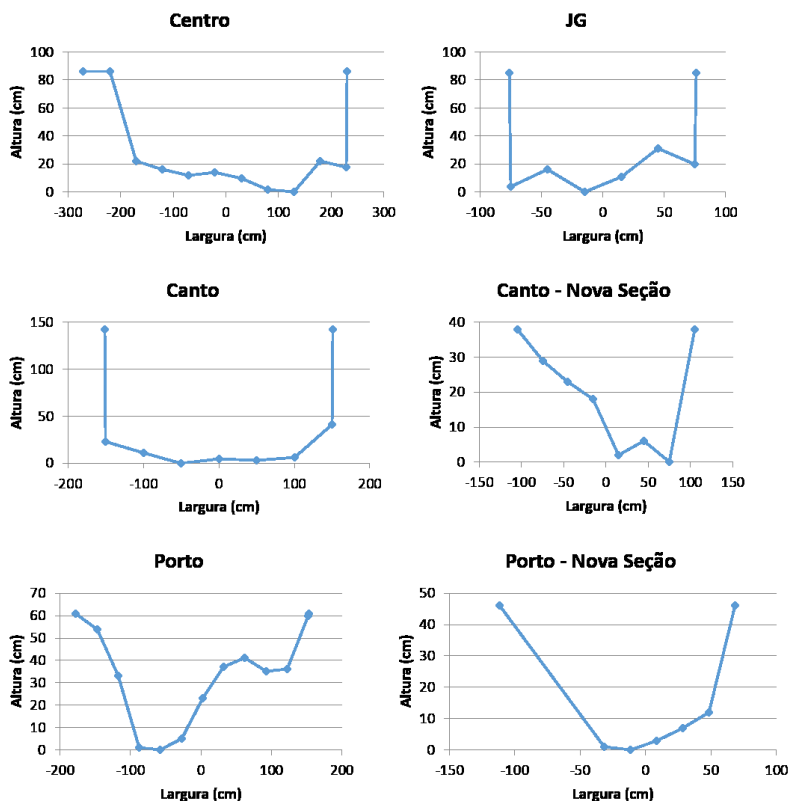


Figura 9 - Seções dos rios das sub-bacias monitoradas

Na sub-bacia da Costa da Lagoa, foi escolhida uma seção onde há um vertedor retangular, pela facilidade de cálculo da vazão utilizando apenas a medição do nível d'água. As dimensões geométricas do vertedor estão na Tabela 8, a seguir:

Tabela 8 – Dimensões do vertedor da sub-bacia Costa da Lagoa	
Largura da base (cm)	400
Altura (cm)	30
Ângulo da base (°)	1,15

A equação utilizada para o cálculo de vazão na sub-bacia da Costa da Lagoa foi a fórmula de Francis para vertedores retangulares com duas contrações laterais:

$$Q = 1,838 \cdot (L - 0,2h) \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

e

$$L = \frac{h}{\tan(\theta)} \quad (9)$$

onde:

Q = vazão (m³/s)

L = largura da base (m)

θ = ângulo da base

h = altura do nível d'água (m)

5.3.5 Estimativa de Vazões Específicas

Vazão específica é a relação entre a vazão em uma seção do curso d'água e a área da bacia hidrográfica relativa à essa seção (PINTO *et al.*, 1976). O cálculo se dá dividindo-se a vazão da seção pela área drenada, obtendo-se uma vazão média por unidade de área (L/s.km²).

Esse valor varia de acordo com o tamanho e características da área da bacia de contribuição, e apresenta de um modo geral um comportamento não linear.

Para o cálculo das vazões específicas das sub-bacias monitoradas, se subtraiu da vazão medida os valores estimados de vazão sanitária em cada seção, a fim de obter um valor relacionado apenas com as características hidrológicas de cada sub-bacia. O cálculo, portanto, se dá por:

$$q_{esp} = \frac{Q - Q_{san}}{A} \quad (10)$$

onde:

q_{esp} = Vazão específica (L/s.km²)

Q = Vazão medida (L/s)

Q_{san} = Vazão sanitária (l/s)

A = Área (km²)

5.3.6 Análise de Concentração de *E. coli*

Em cada um dos pontos de medição de vazão foram coletadas amostras d'água para quantificação da concentração de *E. coli*.

As amostras foram coletadas em frascos de vidro branco, boca larga, com tampa de vidro esmerilhada e bem ajustada, previamente esterilizados. Os frascos foram conservados em bolsa com gelo a fim de manter suas propriedades.

No laboratório é realizada diluição das amostras a fim de não extrapolar o limite máximo de detecção da metodologia. Na quantificação final é feita a multiplicação pela diluição realizada.

O método de quantificação de *E. coli* foi o Colilert-24/Quanti-Tray, desenvolvido pela IDEXX Laboratories. O método identifica as bactérias coliformes como aquelas que produzem coloração amarela por meio da ação da β -galactosidase sobre o ortonitrofenil- β -D-galactopiranosídeo (ONPG), e a *E. coli* é definida como uma bactéria coliforme que apresenta fluorescência azul sob luz UV devido à ação da β -glicuronidase sobre o 4-metilumbeliferil- β -D-glicuronídeo (MUG). (IDEXX, 2005).

Para a quantificação utiliza-se as cartelas Quanti-Tray (IDEXX) que são compostos por flaconetes com meios de cultura e cartela estéreis com 50 cavidades. O método permite quantificar o número mais provável (NMP) de 1 a 200 coliformes (*E. coli*) por 100 mL. Os resultados de coliformes totais e *E. coli* são obtidos simultaneamente, consultando tabelas apropriadas para se determinar o NMP. A quantificação final é o NMP multiplicado pela diluição realizada.

Nas 4 campanhas realizadas entre 22/05/2015 e 07/08/2015 não foi possível realizar as análises de *E. coli* pelo motivo de a seladora do Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA), utilizada para lacrar as cartelas do método Colilert, estar com problemas em seu funcionamento.

5.3.7 Estimativa de Cargas de *E. coli* Afluentes ao Corpo D'água

A carga afluente a um corpo d'água corresponde à quantidade de poluente (massa/células) por unidade de tempo. A estimativa das cargas de *E. coli* que entram no corpo d'água da Lagoa da Conceição se dá a partir dos resultados de concentração e vazão dos rios afluentes.

A carga per capita representa a contribuição de cada indivíduo expressa em termos de número mais provável de organismos por unidade

de tempo. Munidos da população que habita as sub-bacias em que foram realizadas as medições, pode-se calcular as cargas per capita de cada sub-bacia, como mostra as seguintes relações:

$$\text{carga } (W) = \text{concentração } (C) \times \text{vazão } (Q)$$

$$W_{E.coli} \left(\frac{NMP}{d} \right) = C_{E.coli} \left(\frac{NMP}{100mL} \right) \times Q_{rio} \left(\frac{L}{d} \right) \times 0,1 \quad (11)$$

$$\text{Carga per capita } (W_{pc}) = \frac{\text{carga } (W)}{\text{População } (hab)}$$

$$W_{pcE.coli} \left(\frac{NMP}{hab.d} \right) = \frac{W_{E.coli} \left(\frac{NMP}{d} \right)}{hab} \quad (12)$$

onde:

$W_{E.coli}$ = Carga de *E. coli*

$C_{E.coli}$ = Concentração de *E. coli*

Q_{rio} = Vazão medida do rio

$W_{pcE.coli}$ = Carga per capita de *E. coli*

Para a medida de tendência central, foi utilizada a média geométrica das cargas de *E. coli* em cada sub-bacia. A média geométrica é melhor utilizada para variáveis cujos valores variam segundo uma distribuição log-normal.

5.4 Monitoramento da Balneabilidade

A Fundação do Meio Ambiente – FATMA, órgão ambiental da esfera estadual do Governo de Santa Catarina, realiza sistematicamente, desde 1976, o monitoramento de balneabilidade das águas em diversos balneários do estado com o intuito de determinar se estão “próprias” ou “impróprias” para o banho. A frequência das análises de balneabilidade é realizada mensalmente de abril a outubro e semanalmente de novembro a março.

O parâmetro de qualidade de água utilizado para a classificação da balneabilidade é a concentração de *E. coli*, organismo indicador de contaminação microbiológica das águas, oriundo de fontes pontuais e difusas de efluentes domésticos. A classificação das águas como própria

e imprópria é feita pela FATMA seguindo a Resolução CONAMA n° 274/2000, tal como descrita anteriormente.

Dentre as praias e lagunas existentes no Estado de Santa Catarina, a FATMA monitora 8 pontos na Lagoa da Conceição, mostrados na Figura 10. Todos os pontos localizam-se na região mais ao sul da laguna que se caracteriza pela densidade demográfica mais elevada.

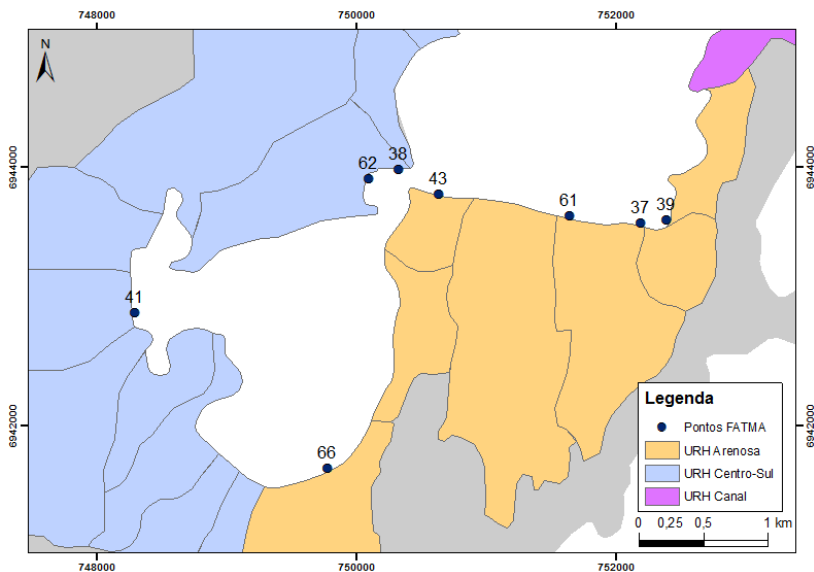


Figura 10 - Pontos de monitoramento de balneabilidade FATMA

Foram disponibilizados pela FATMA os resultados desde janeiro de 2002 até julho de 2015. As análises dos resultados de balneabilidade foram feitas a partir da evolução temporal dos valores absolutos de *E. coli* para cada um dos pontos amostrais e a ocorrência de condição imprópria para cada mês de cada ano e na alta temporada (dezembro a março) e baixa temporada (abril a novembro). Foram verificados os números de amostras realizadas e os números de amostras que foram consideradas “Impróprias”. A classificação de balneabilidade considera o histórico das últimas cinco amostras, e por isso este parâmetro está relacionado não apenas com o valor absoluto daquela campanha, mas também com os últimos resultados anteriores.

Assim como Silva (2013), a partir dos dados de balneabilidade de cada ponto, foi realizada uma análise espacial pelos métodos de

agrupamento hierárquico em árvore e k-médias utilizando o software *Statística 8.0*. Os dados utilizados para o agrupamento foram as porcentagens de amostras impróprias para cada ponto por temporada (alta e baixa temporada), para os anos de 2002 a 2014.

O agrupamento em árvore tem o objetivo de unificar pontos em classe ou grupos sucessivamente maiores através de utilização de alguma medida de similaridade ou de distância. Para construir a árvore é necessário utilizar uma medida de distância entre as classes, chamada de distância de conexão. No presente trabalho foi utilizada a distância euclidiana completa, que considera a distância entre os vizinhos mais distantes dos dois grupos como a distância entre agrupamentos. O resultado é uma árvore hierárquica denominada dendograma.

Após a análise do dendograma, se utilizou o método de k-médias para confirmar o agrupamento em árvore. O método k-médias é diferente do método em árvore pois já se deve ter as hipóteses a respeito do número de grupos no conjunto de dados. O método produzirá exatamente k diferentes grupos com a maior distinção possível entre eles através de um algoritmo de aglomeração que a cada passo tenta maximizar a distância intergrupos e minimizar a distância intragrupos. No algoritmo deve-se definir o número de grupos e a condição inicial para os centroides dos grupos. Nesse caso foi definido dois com a condição inicial de maximizar a distância entre grupos iniciais.

A partir do resultado de k-médias, através do software *Statsoft Statística 8.0*, foi feito um gráfico box-plot para expor as diferenças de médias entre os agrupamentos realizados

5.5 Dados de Precipitação

Os dados de precipitação utilizados no trabalho foram extraídos do Sistema de Informações Hidro Meteorológicas (SIM) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a Estação Meteorológica Automática de Florianópolis/SC, localizada nas coordenadas 27°36'S e 48°36'O, distante cerca de 13 km da área de estudo.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Campanhas de Monitoramento de Dados Ambientais

Os resultados obtidos durante as campanhas de campo de monitoramento de dados ambientais, como os aportes fluviais e cargas de coliformes serão apresentados e discutidos neste item. A Tabela 9 indica os parâmetros levantados em cada campanha.

Tabela 9 – Parâmetros levantados nas campanhas de monitoramento

Data/sub-bacia	Centro	Canto	Costa	Porto	JG
12/03/2015	Seção	Seção	Seção		
13/03/2018				Seção	Seção
23/03/2015	Q, PFQ, PM	Q, PFQ	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM
17/04/2015	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM
08/05/2015	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM
22/05/2015	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ
19/06/2015	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ
10/07/2015	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ
07/08/2015	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ	Q, PFQ
10/09/2015	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM
01/10/2015	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM, Seção	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM Seção	Q, PFQ, PM
23/10/2015	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM	Q, PFQ, PM

Q=Vazão, PFQ=Parâmetros Físico-químicos, PM=Parâmetros microbiológicos

6.1.1 Aportes Fluviais

Os aportes fluviais foram estimados a partir da medição do escoamento superficial das sub-bacias monitoradas, através do método do flutuador e medição do nível do vertedor da sub-bacia da Costa da Lagoa, como descrito anteriormente.

Ao todo foram realizadas 10 medições de vazão em cada sub-bacia monitorada, com exceção da sub-bacia do Canto da Lagoa na qual, por

motivos operacionais, foram realizadas apenas 6 medições. As medições tiveram início em 23/03/2015 e finalizaram em 23/10/2015. O Gráfico 2 mostra as vazões medidas em cada sub-bacia, assim como a precipitação diária ao longo do período de monitoramento.

De maneira geral, as vazões mantiveram uma proporcionalidade exponencial entre elas, variando de 20 a 200 L/s até o oitavo mês de monitoramento. A partir do oitavo mês o período chuvoso fez com que as vazões aumentassem sistematicamente, com a sub-bacia do Rio João Gualberto atingindo uma vazão de 880 L/s enquanto que a sub-bacia do Porto da Lagoa chegou a um valor máximo de 317 L/s.

Os motivos da sub-bacia do Rio João Gualberto apresentar uma maior vazão dentre as demais se deve às características da bacia hidrográfica e sua morfometria. A sub-bacia em questão apresenta uma área total de 12,52 km², enquanto as outras sub-bacias monitoradas variam de 0,97 a 2,37 km². A declividade média do talvegue é relativamente baixa, fazendo com que o tempo de concentração seja alto.

No Gráfico 2 também pode-se ver a diferente distribuição das chuvas ao longo do monitoramento. O período até o mês de setembro apresentou um regime pluvial com chuvas de menor frequência, porém com intensidades consideráveis, chegando a 130 mm diários, apresentando também períodos de estiagem. Já a partir do mês de setembro houve um período bastante chuvoso, com chuvas bem distribuídas, chegando-se a uma média de 9 mm diários no período de 01 de setembro a 23 de outubro.

Ficou evidente a influência da chuva nas vazões dos rios monitorados, visto que as medições em períodos de estiagem apresentaram valores menores do que as medições em período chuvoso ou logo após um episódio de chuva.

É importante salientar as incertezas associadas aos métodos de medição utilizados. O método do flutuador, de modo geral se mostrou uma solução viável para a determinação de vazões em rios acidentados e com pequena vazão. O método do vertedor, utilizado na sub-bacia da Costa da Lagoa, é uma técnica bastante consagrada, porém as características do vertedor levaram à resultados sem muita precisão, devido à sua grande largura e soleira irregular, onde uma incerteza de 0,5 cm na medição do nível leva à um erro médio de 20% do valor calculado de vazão.

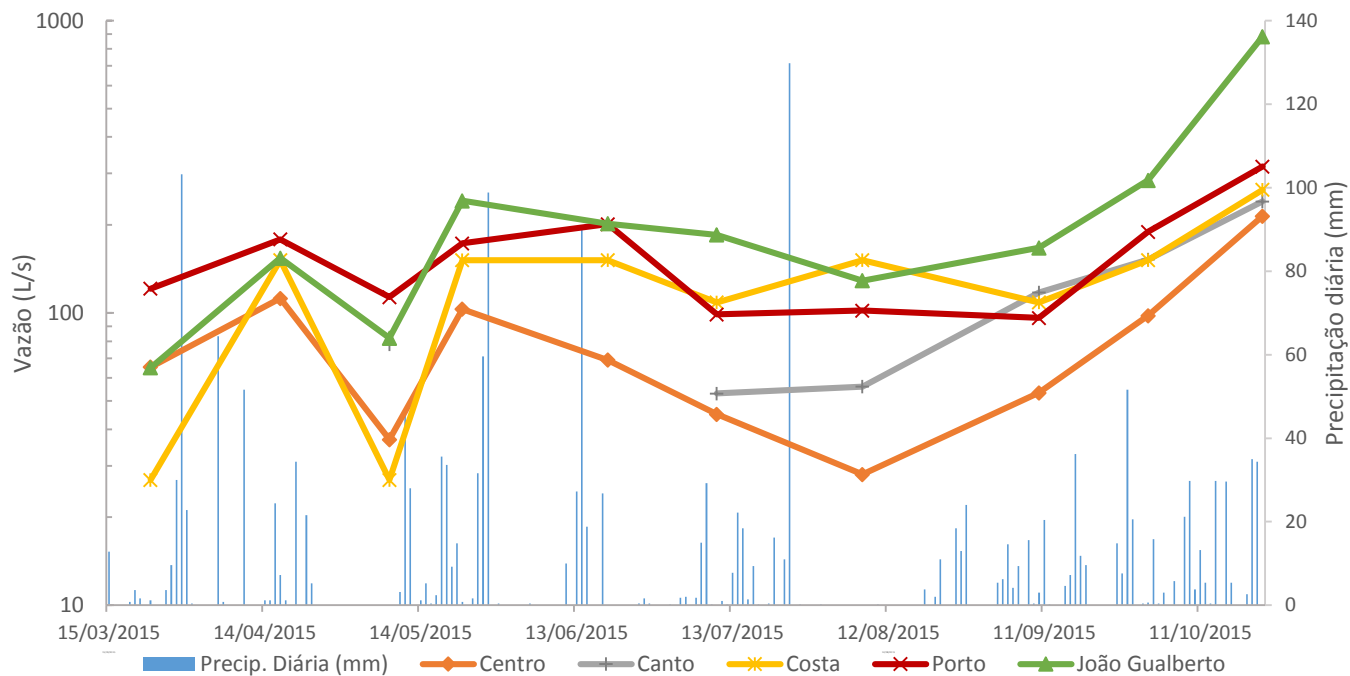


Gráfico 2 - Vazões fluviais monitoradas por sub-bacia e precipitação diária

6.1.2 Aportes de Efluentes Sanitários

A contribuição antrópica de efluentes sanitários foi estimada na base do consumo médio de água consumido pela população em cada sub-bacia. Munidos dos dados de população e consumo médio, estimou-se a contribuição de aportes de efluentes sanitários em cada sub-bacia. O monitoramento foi realizado entre março e outubro de 2015, o que corresponde à baixa temporada, razão pela qual utilizou-se a população residente como referência nos cálculos. Foram utilizados os dados de população do ano 2010 devido à falta de dados mais recentes.

É importante salientar que os aportes de efluentes sanitários são difusos e variáveis ao longo do tempo. A situação crítica de aportes difusos ocorre no período chuvoso, oposto da carga pontual, e a situação crítica ocorre na primeira parte do hidrograma, quando a carga é alta pelo transporte de poluentes para dentro do rio, reduzindo-se depois. (TUCCI, 2009)

As quantificações dos aportes sanitários são importantes para se conhecer a proporção da vazão medida em relação a vazão sanitária (e a influência que a população exerce sobre vazões medidas). O aumento da população é diretamente proporcional ao aumento dos aportes sanitários. Os aportes de efluentes sanitários nas sub-bacias monitoradas são apontados na Tabela 10.

Tabela 10 - Aporte de efluentes sanitários por bacia para população residente (2010)

Sub-bacia	Pop. Res. (2010)	Aporte Eflu. Sanit. (L/s)
Centro	2522	5,11
Canto	416	0,84
Costa	-	-
Porto	5019	10,17
JG	9070	16,8

Na Tabela 10 se nota que o maior aporte sanitário das sub-bacias monitoradas é na sub-bacia do Rio João Gualberto, devido à sua elevada população. A sub-bacia da Costa da Lagoa não possui aporte sanitário, pois não há população residente nesta sub-bacia.

A Tabela 11 apresenta as proporções da vazão sanitária em relação à vazão medida em cada sub-bacia, ao longo do monitoramento. É possível notar que na sub-bacia do Rio João Gualberto ocorrem as maiores proporções, chegando a 26%, porém, em períodos chuvosos, onde a vazão medida aumenta, esse valor diminui para 2%. O vermelho mais intenso nas células indica maiores magnitudes, enquanto as menores intensidades significam menores proporções.

Tabela 11 - Proporção dos aportes sanitários e vazões medidas nas campanhas de monitoramento

Data/sub-bacia	Centro		Canto		Costa		Porto		JG	
	Q (L/s)	Qsan/Q %	Q (L/s)	Qsan/Q %	Q (L/s)	Qsan/Q* %	Q (L/s)	Qsan/Q %	Q (L/s)	Qsan/Q %
23/03/2015	65	8%			28		121	8%	65	26%
17/04/2015	112	5%			158		179	6%	154	11%
08/05/2015	37	14%	78	1%	28		113	9%	82	20%
22/05/2015	103	5%			158		173	6%	242	7%
19/06/2015	69	7%			158		201	5%	202	8%
10/07/2015	45	11%	53	2%	113		99	10%	185	9%
07/08/2015	28	18%	56	2%	158		102	10%	129	13%
10/09/2015	53	10%	117	1%	113		96	11%	167	10%
01/10/2015	98	5%	152	1%	158		189	5%	284	6%
23/10/2015	214	2%	241	0%	275		317	3%	882	2%

*Na sub-bacia da Costa Qsan é nula pois não há população

6.1.3 Vazões específicas

As vazões específicas relacionam as vazões medidas com a área drenada em cada sub-bacia. As diferentes vazões específicas entre sub-bacias se justificam pelas diferentes características da bacia, como tipo e uso do solo, assim como as diferentes características morfométricas. Os aportes antrópicos não influenciam nas vazões específicas, pois é excluída a vazão sanitária do cálculo.

Na Tabela 12 encontram-se os valores calculados para cada dia de campanha e a vazão específica média para cada sub-bacia monitorada. O Gráfico 3 representa as informações da Tabela 12 para uma melhor visualização dos valores, onde os pontos indicam as vazões específicas medidas em cada campanha e a coluna representa a média das vazões específicas em cada sub-bacia.

Tabela 12- Vazões específicas nas sub-bacias monitoradas

Data	Vazão específica (L/s.km ²)				
	Centro	Canto	Costa	Porto	JG
23/03/2015	28	-	28	51	10
17/04/2015	49	-	158	75	24
08/05/2015	15	46	28	48	13
22/05/2015	45	-	158	73	38
19/06/2015	29	-	158	85	32
10/07/2015	18	32	113	42	29
07/08/2015	11	33	158	43	20
10/09/2015	22	70	113	41	26
01/10/2015	43	91	158	80	44
23/10/2015	96	143	275	134	138
Média	36	69	135	67	37

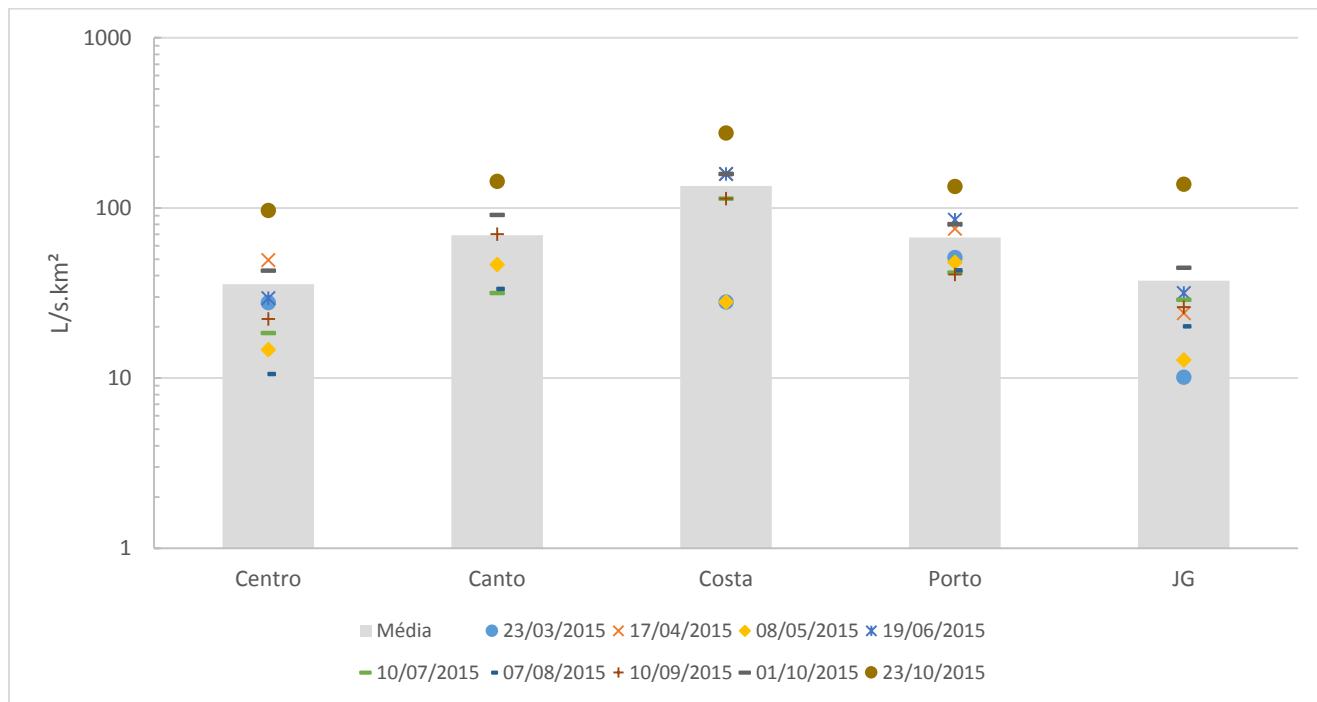


Gráfico 3 - Vazões específicas das sub-bacias monitoradas

A vazão específica média da sub-bacia da Costa da Lagoa foi a mais expressiva, principalmente em função do solo argiloso e da alta inclinação média do talvegue, fazendo com que a água não infiltre no solo, o que provoca um maior escoamento superficial. Esta sub-bacia também tem a maior amplitude de valores de vazão específica, provavelmente devido à pequena área da bacia hidrográfica (0,96 km²), uma vez que normalmente pequenas bacias são mais sensíveis a precipitações intensas devido ao menor amortecimento do escoamento. O mesmo ocorre na sub-bacia do Canto da Lagoa, segunda menor sub-bacia (1,68 km²).

A vazão específica da sub-bacia do Porto da Lagoa se mostrou comparativamente alta. Mesmo o tipo de solo sendo predominantemente areias e dunas, a vazão média específica ficou no mesmo patamar da vazão específica média da sub-bacia do Canto da Lagoa, que tem como tipo de solo predominante o argissolo. Um dos motivos seria a alta urbanização, cerca de 19% da área da sub-bacia, maior porcentagem urbana das sub-bacias monitoradas. Outro motivo que deve ser analisado mais cuidadosamente seria de o curso d'água da sub-bacia do Porto da Lagoa ser alimentado por escoamentos subterrâneos provenientes de bacias vizinhas. Isto pode ocorrer em regiões planas, de depósitos sedimentares permeáveis. (GARCEZ & ALVAREZ, 1988).

As sub-bacias do Centro da Lagoa e do Rio João Gualberto tiveram os menores valores de vazão específica média dentre as sub-bacias monitoradas. As duas sub-bacias possuem significativa porcentagem de areias quartzólicas (43% e 33%, respectivamente (Tabela 5)) em sua composição de solo, ocasionando elevada infiltração no solo. É interessante notar que a bacia do Rio João Gualberto apresenta a maior área de contribuição drenante. Estudos como Ermenegildo *et al.* (2012) e Pruski *et al.* (2004), também evidenciaram a redução da vazão específica com o aumento da área de contribuição.

6.1.4 Concentração de *E. coli*

A Tabela 13 mostra as concentrações de *E. coli* quantificadas nos rios das sub-bacias monitoradas.

Tabela 13 – Concentrações de *E. coli* nas sub-bacias monitoradas

Data	Concentração <i>E. coli</i> (NMP/100mL)				
	Centro	Canto	Costa	Porto	JG
23/03/2015	22.200	1.000	61	<100	5.500
17/04/2015	41.000	10.000	275	<10.000	20.000
08/05/2015	10.000	3.100	41	1.000	1.000
22/05/2015					
19/06/2015					
10/07/2015					
07/08/2015					
10/09/2015	10.000	4.100	161	1.000	1.000
01/10/2015	1.000	16.900	122	<100	<100
23/10/2015	200	<1.000	<10	10	10

Nota-se, de maneira geral, a grande variabilidade das concentrações ao longo do tempo. Foi constatado que em períodos chuvosos as concentrações de *E. coli* diminuem, em virtude da diluição que ocorre com o maior escoamento superficial. Por outro lado, a amostragem realizada um dia após uma chuva intensa, em um período de estiagem (17/04/2015), foi a que apresentou as maiores concentrações. Isto se dá devido ao fenômeno chamado carga de lavagem, que se trata da remoção inicial de poluentes acumulados na bacia no período entre chuvas (TOMAZ, 2006).

Os altos valores de concentração encontrados nas sub-bacias, com exceção da Costa da Lagoa, mostram que há interferência antrópica nos corpos hídricos, mesmo nas sub-bacias contempladas com coleta e tratamento de esgoto.

A presença de *E. coli* em uma sub-bacia não antropizada como a sub-bacia da Costa da Lagoa, mesmo que em baixas concentrações, é explicada pelo fato de a presença de *E. coli* não garantir que a contaminação seja exclusivamente humana. Portanto, há provavelmente contaminação por fezes de animais silvestres e/ou pássaros, a qual, por apresentar baixas concentrações, não interfere na balneabilidade do local

(ponto turístico de lazer e recreação), visto que as concentrações não ultrapassam os valores limites (800 NMP/100mL) da Resolução CONAMA n° 274/2000.

Também é possível notar valores em que a concentração ficou abaixo do limite de detecção. Isso se dá, pois, o método utilizado exige que sejam feitas diluições para que as concentrações não extrapolem o limite máximo de detecção do método. A diluição utilizada deve variar em virtude da possível concentração que irá ser encontrada na amostra, cabendo à experiência do pesquisador a diluição apropriada para cada situação. Idealmente, quando não se tem uma ideia sobre as concentrações de *E. coli* a serem encontradas, deve-se utilizar diversas diluições a fim de escolher a que melhor se encaixa para cada caso. Isto não foi possível devido à limitação econômica do trabalho. Outro fator que contribuiu para a utilização errônea das diluições em alguns casos, foi a grande variabilidade de concentrações ao longo do tempo, em virtude do regime fluviométrico.

O período do monitoramento onde não se encontra os resultados das concentrações corresponde ao período onde houve mal funcionamento dos equipamentos do LIMA.

6.1.5 Cargas per Capita de *E. coli*

As cargas per capita de *E. coli* foram estimadas para cada sub-bacia durante o período de monitoramento a partir dos dados de vazão medida, concentração de *E. coli* e população por sub-bacia. As tabelas a seguir apresentam os valores encontrados em cada sub-bacia ao longo do período de monitoramento e a média geométrica dos valores no período.

Não foram incluídos no cálculo das cargas os valores de concentração que não atingiram os limites de detecção.

Tabela 14 - Cargas de *E. coli* na sub-bacia do Centro

Data	Vazão Medida (L/s)	Centro		
		<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Carga diária (NMP/dia)	Carga diária per capita (NMP/hab.d)
23/03/2015	65	22.200	5,32E+09	2,11E+06
17/04/2015	112	41.000	1,75E+10	6,93E+06
08/05/2015	37	10.000	1,27E+09	5,02E+05
22/05/2015	103			
19/06/2015	69			
10/07/2015	45			
07/08/2015	28			
10/09/2015	53	10.000	1,92E+09	7,61E+05
01/10/2015	98	1.000	3,69E+08	1,46E+05
23/10/2015	214	200	1,67E+08	6,61E+04
Média	82,47	5,13E+03	1,55E+09	6,15E+05

Tabela 15 - Cargas de *E. coli* na sub-bacia do Canto da Lagoa

Data	Vazão Medida (L/s)	Canto		
		<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Carga diária (NMP/dia)	Carga diária per capita (NMP/hab.d)
23/03/2015		1.000		
17/04/2015		10.000		
08/05/2015	78	3.100	1,24E+09	2,99E+06
22/05/2015				
19/06/2015				
10/07/2015	53			
07/08/2015	56			
10/09/2015	117	4.100	2,48E+09	5,95E+06
01/10/2015	152	16.900	1,32E+10	3,18E+07
23/10/2015	241	<1.000		
Média	116	4,64E+03	3,44E+09	8,27E+06

Tabela 16 - Cargas de *E. coli* na sub-bacia da Costa da Lagoa

Costa				
Data	Vazão Medida (L/s)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Carga diária (NMP/dia)	Carga diária per capita (NMP/hab.d)
23/03/2015	27	61	1,64E+01	
17/04/2015	151	275	4,17E+02	
08/05/2015	27	41	1,10E+01	
22/05/2015	151			
19/06/2015	151			
10/07/2015	109			
07/08/2015	151			
10/09/2015	109	161	1,75E+02	
01/10/2015	151	122	1,85E+02	
23/10/2015	264	<10		
Média	129,24	1,06E+02	7,53E+01	

Tabela 17 - Cargas de *E. coli* na sub-bacia do Porto da Lagoa

Porto				
Data	Vazão Medida (L/s)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Carga diária (NMP/dia)	Carga diária per capita (NMP/hab.d)
23/03/2015	121	<100		
17/04/2015	178	<10.000		
08/05/2015	113	1.000	4,13E+08	8,22E+04
22/05/2015	173			
19/06/2015	201			
10/07/2015	99			
07/08/2015	102			
10/09/2015	96	1.000	3,50E+08	6,98E+04
01/10/2015	189	<100		
23/10/2015	316	10	1,15E+07	2,30E+03
Média	159,02	2,15E+02	1,19E+08	2,36E+04

Tabela 18 - Cargas de *E. coli* na sub-bacia do Rio João Gualberto

Data	Vazão Medida (L/s)	JG		
		<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Carga diária (NMP/dia)	Carga diária <i>E. coli</i> p.hab
23/03/2015	65	5.500	4,80E+08	5,29E+04
17/04/2015	154	20.000	4,15E+09	4,57E+05
08/05/2015	82	1.000	1,10E+08	1,22E+04
22/05/2015	242			
19/06/2015	202			
10/07/2015	185			
07/08/2015	129			
10/09/2015	167	1.000	2,25E+08	2,48E+04
01/10/2015	284	<100		
23/10/2015	881	10	1,19E+07	1,31E+05
Média	239	1,02E+03	2,26E+08	2,49E+04

O Gráfico 4 sintetiza os resultados de cargas per capita, onde os valores encontrados seguem um comportamento semelhante ao longo do tempo, variando a magnitude em cada sub-bacia.

A sub-bacia do Canto da Lagoa foi a que apresentou a maior magnitude em relação as demais, sendo que foi a única que aumentou a magnitude após o mês de setembro, enquanto as outras sub-bacias tiveram uma diminuição de suas cargas per capita. Ressalta-se as incertezas relacionadas aos métodos de medição de vazão e a deficiência de dados para inferir uma relação mais robusta.

O Gráfico 5 apresenta as médias geométricas das cargas per capita, calculadas em cada sub-bacia e o intervalo utilizado como referência para a contribuição per capita em esgotos brutos segundo Von Sperling (2005).

Como é possível verificar, os valores mais altos de carga per capita média são nas sub-bacias do Centro e do Canto da Lagoa (6×10^5 e 8×10^6 NMP/hab.d respectivamente), enquanto os valores para as sub-bacias do Porto e do Rio João Gualberto mantiveram-se mais baixos, no patamar de 2×10^4 NMP/hab.d. Interessante salientar que as duas sub-bacias que apresentaram maiores cargas per capita, são as únicas providas de coleta e tratamento de esgoto, enquanto nas sub-bacias do Porto e do Rio João Gualberto o tratamento de esgoto é individual a partir de fossas

sépticas e sumidouros. A hipótese que pode explicar este comportamento inesperado seria a baixa aderência da população das sub-bacias do Centro e Canto da Lagoa em utilizar a rede coletora de esgoto, fazendo com que os efluentes cheguem nos corpos hídricos sem nenhum tipo de tratamento.

O tipo de solo, assim como a declividade média do talvegue, também são fatores importantes na análise de cargas de efluentes nos corpos d'água. Um solo arenoso faz com que os poluentes infiltrem no solo com mais facilidade, onde ocorre um fluxo lento até o corpo d'água, promovendo um maior decaimento das bactérias até atingi-los. As sub-bacias do Porto da Lagoa e do Rio João Gualberto apresentam solo arenoso e com declividade média baixa, o que faz com que os efluentes das fossas sépticas infiltrem no solo e decaiam no tempo devido as condições adversas do ambiente.

Já nas sub-bacias do Centro e Canto da Lagoa, os solos argilosos e com maior declividade fazem com que os efluentes domésticos atinjam os corpos d'água em menor tempo, ocorrendo uma menor depuração. Porém, mesmo nessas sub-bacias nota-se que há um decaimento, visto que as cargas estão abaixo do limite mínimo do intervalo de referência. Outro fator que leva ao decaimento bacteriano seria o choque na transição de ambientes com baixo OD, típico do esgoto bruto, para ambientes com alto OD, característico dos corpos hídricos (KOTT, 1982).

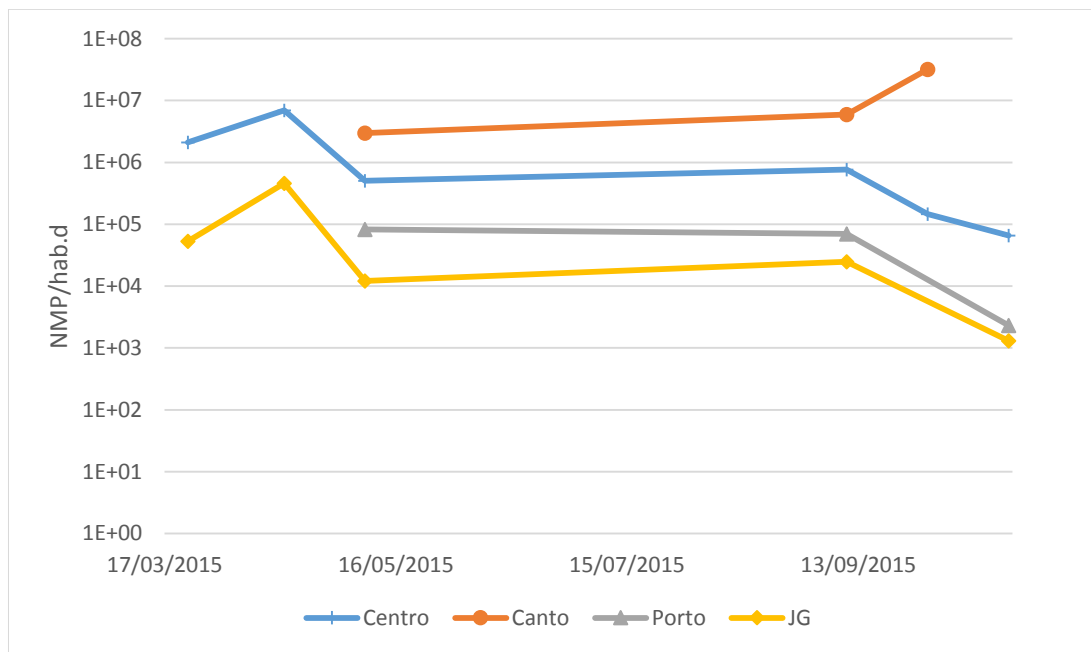


Gráfico 4 – Variação Temporal das cargas per capita de *E. coli* ao longo do tempo

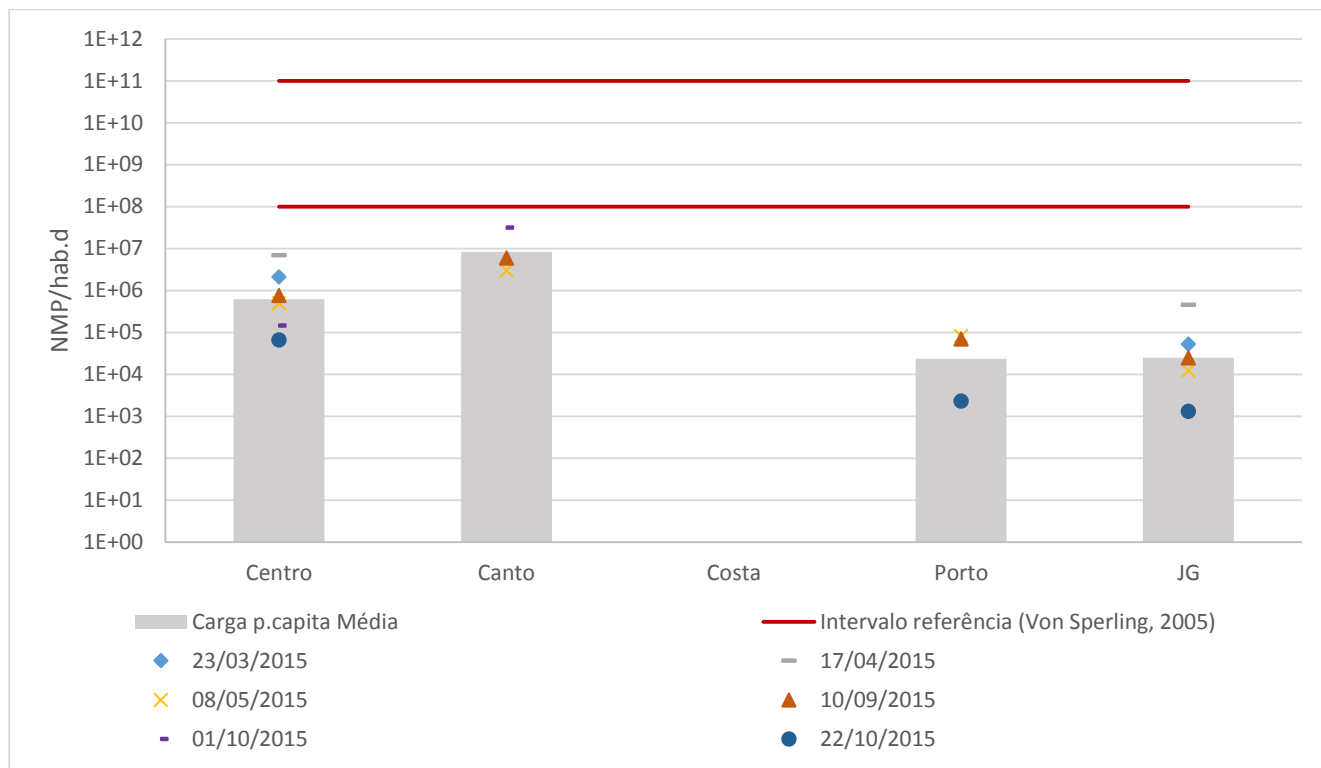


Gráfico 5 – Carga per capita média nas sub-bacias monitoradas

6.1.6 Aporte de Cargas de *E. coli* no Corpo Hídrico da Lagoa da Conceição

A partir das cargas per capita média calculadas para cada sub-bacia, se fez uma extrapolação das cargas para as diferentes URH da bacia da Lagoa da Conceição, a fim de calcular o aporte total de cargas de *E. coli* na Lagoa da Conceição.

Para a URH Norte foi utilizado o valor de carga encontrado na sub-bacia do Rio João Gualberto. Para a URH Arenosa foi utilizada a carga encontrada na sub-bacia do Porto da Lagoa, que está inserida nesta URH. Para a URH Leste foi utilizado o mesmo valor de carga da URH Arenosa, por apresentar características da bacia semelhantes. Para a URH Centro Sul foi utilizada a média geométrica das cargas das sub-bacias do Centro e Canto da Lagoa, inseridas nessa URH, assim como na URH Canal e Oeste, por apresentar características da bacia semelhantes.

Na Tabela 19 é apresentado os aportes de *E. coli* para a baixa e alta temporada. Pelo motivo de algumas URH duplicarem a população na alta temporada, os aportes de *E. coli* também dobraram para essa época do ano.

Tabela 19 – Cargas de *E. coli* por URH

URH	População 2010 (hab)		Carga per capita méd (NMP/hab.d)	Carga <i>E. coli</i> (NMP/d)	
	Baixa Temporada	Alta Temporada		Baixa Temporada	Alta Temporada
Norte	13.965	19.955	2,49E+04	3,48E+08	4,97E+08
Leste	2.997	6.744	2,36E+04	7,08E+07	1,59E+08
Canal	4.347	9.800	2,26E+06	9,80E+09	2,21E+10
Arenosa	7.308	12.539	2,36E+04	1,73E+08	2,96E+08
Centro Sul	11.782	23.538	2,26E+06	2,66E+10	5,31E+10
Oeste	1.331	2.660	2,26E+06	3,00E+09	6,00E+09
Total	41.730	75.236	6,84E+06	4,00E+10	8,21E+10

6.2 Análise de Balneabilidade

6.2.1 Análise Espacial

A partir dos dados de balneabilidade fornecidas pela FATMA, foi realizada análise espacial pelos métodos de agrupamento de clusters em árvore e k-médias utilizando o software Statistica 8.0. Os dados utilizados para o agrupamento foram as porcentagens de amostras impróprias para cada ponto por temporada (alta e baixa), para os anos de 2002 a 2014.

No Gráfico 6, é possível ver o resultado do agrupamento em árvore dos pontos de monitoramento de balneabilidade da FATMA com características semelhantes quanto ao percentual de amostras impróprias por temporada.

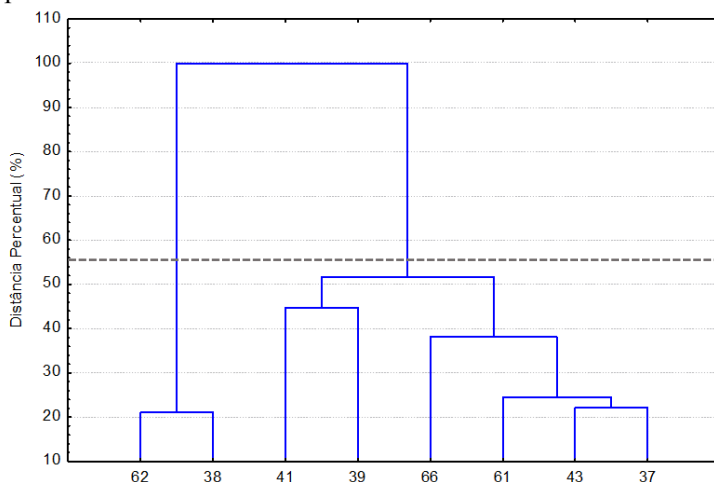


Gráfico 6 - Agrupamento dos pontos de monitoramento FATMA

Assim como Silva (2013), foram identificados dois grupos distintos na distância percentual em torno de 50%. O primeiro grupo é composto pelos pontos 62 e 38, que apresentam maiores porcentagens de amostras impróprias, ambos localizados próximos à região do Centrinho da Lagoa. Este grupo destaca-se por suas amostras estarem constantemente em condições impróprias para banho. Os motivos para isto seriam as altas cargas de coliformes provenientes das sub-bacias que desaguam próximos aos pontos 62 e 38. Essas sub-bacias estão densamente urbanizadas, com alta população, e como analisados no item 6.1.5, possuem a maior carga per capita da área de estudo. Outro motivo que acarreta as altas concentrações de *E. coli* na área, é a baixa dispersão

dos poluentes devido a hidrodinâmica local, onde as velocidades da água na região apresentam valores bastante baixos, incluindo velocidades nulas em alguns cenários, como verificado por Silva (2013).

O grupo 2, formado pelos pontos 39, 41, 66, 43, 61 e 37, apresenta menores percentuais de amostras impróprias. Esses pontos localizam-se próximos às exutórias de sub-bacias menos populosas e, com exceção do ponto 41, localizam-se na URH Arenosa, que, como analisado anteriormente, possui a menor carga per capita de *E. coli* da área de estudo. No entanto, o grupo 2 ainda pode ser subdividido em dois grupos: grupo 2A, formado pelos pontos 41 e 39 e o grupo 2B, composto pelos pontos 66, 61, 43 e 37. A Figura 11 apresenta a localização e divisão dos grupos após a análise.

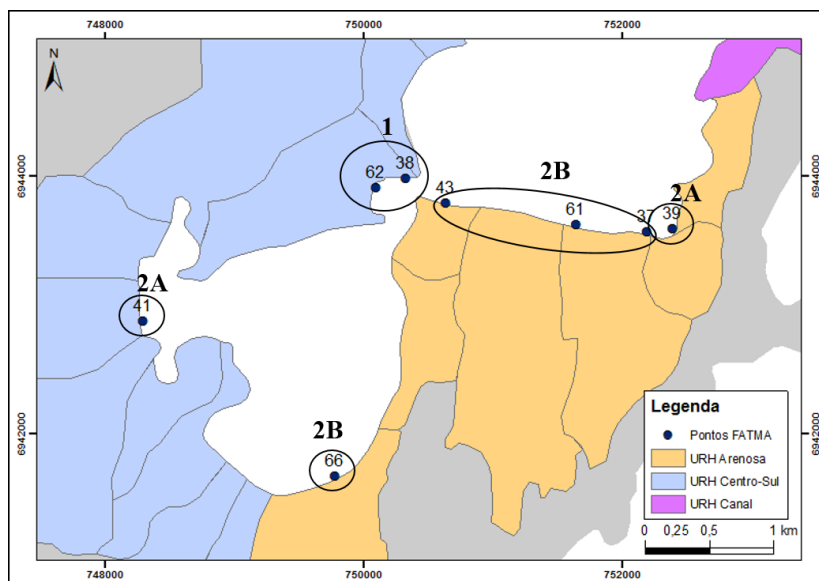


Figura 11 - Localização dos grupos de balneabilidade - FATMA

O grupo 2A apresenta porcentagens de amostras impróprias superiores ao grupo 2B, sendo a possível razão para isso o comportamento hidrodinâmico dos locais, onde os pontos 41 e 39 estão inseridos. Segundo Silva (2013), a água nos locais dos pontos mencionados apresenta baixa velocidade, acumulando as cargas de *E. coli* próximas a exutória, ocasionando altas concentrações. No entanto, as porcentagens

de amostras impróprias são inferiores ao grupo 1, possivelmente devido às menores cargas.

Já o grupo 2B apresenta a melhor balneabilidade dos pontos de monitoramento da FATMA. As sub-bacias que drenam para as exutórias próximas aos pontos de monitoramento apresentam populações razoáveis, como a sub-bacia do Porto da Lagoa, que abriga quase 8.000 habitantes na alta temporada, porém sua influência na balneabilidade da Lagoa é pequena, o que confirma a menor carga per capita de *E. coli* para a URH, como calculada anteriormente. Assim como a carga de poluentes, a hidrodinâmica local também auxilia no processo de dispersão dos coliformes, como Silva (2013) evidenciou.

O agrupamento por k-médias confirmou os resultados do agrupamento em árvore. O Gráfico 7 apresenta as médias da divisão em dois grupos assim como a subdivisão do grupo 2 em dois subgrupos. Como é possível ver, os dois grupos possuem características bem distintas, não havendo sobreposição entre eles. Quando se divide o grupo 2 em dois subgrupos, não há sobreposição da região interquartis, levando a crer que também há distinção entre os subgrupos.

Os outliers são valores que apresentam um grande afastamento da média do grupo. No grupo 1 tem-se um outlier com o valor 0,5, que ocorreu na baixa temporada do ano 2012. Já o grupo 2B apresenta dois outliers, com os valores 0,39 e 0,51, que ocorreram na baixa temporada de 2013 e na alta temporada de 2011, respectivamente. No grupo 2A não há presença de outliers.

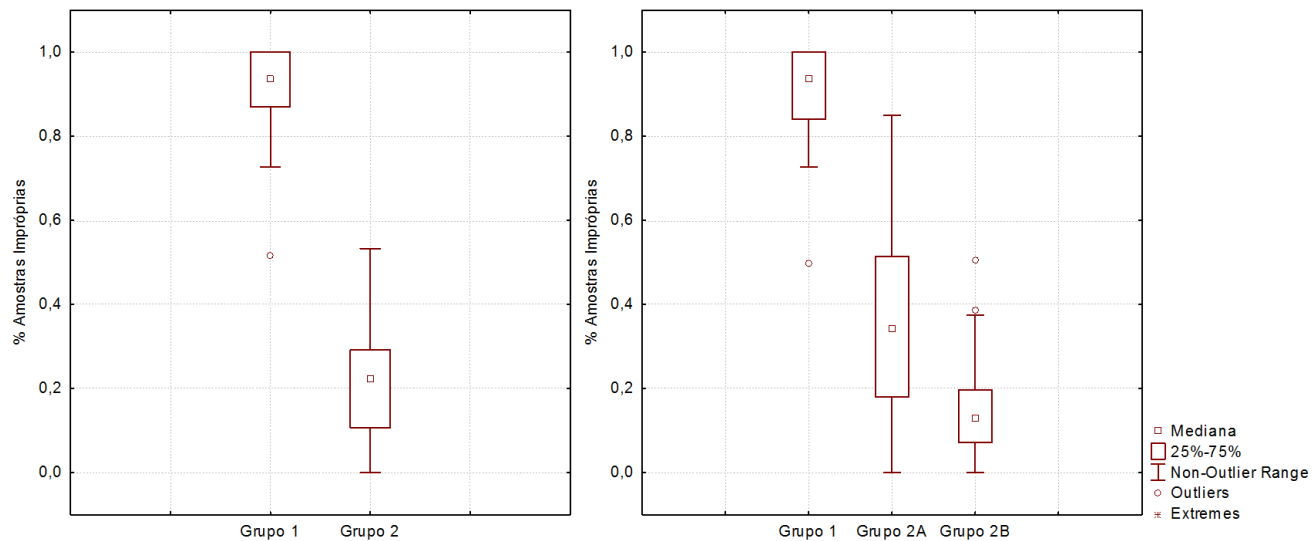


Gráfico 7- Médias das percentagens de amostras impróprias por grupos e subgrupos

6.2.2 Análise Temporal

Realizado o agrupamento de pontos de monitoramento da balneabilidade da FATMA com características semelhantes, os dados foram manipulados com o intuito de analisar o comportamento dos pontos ao longo do tempo. O Gráfico 8 apresenta as porcentagens de amostras impróprias por temporada para cada grupo, do ano de janeiro de 2002 até julho 2015.

Como pode ser analisado, assim como verificado na análise espacial, o grupo 1 mantém porcentagens bem distintas aos subgrupos do grupo 2, com o grupo 1 próximo à porcentagem máxima de 100% na maioria do tempo, enquanto o grupo 2A tem a maior amplitude, variando de 0 a 85% e o grupo 2B variando de 0 a 50%, de amostras impróprias por temporada. Há uma certa aderência entre os grupos, onde as porcentagens aumentam ou diminuem de maneira semelhante em determinadas temporadas, como por exemplo em 2003, na baixa temporada, onde todos tiveram um aumento das porcentagens impróprias, enquanto que na temporada seguinte, todos tiveram uma diminuição, o que leva a crer em um comportamento sazonal.

A média geral de todos os pontos ao longo do tempo teve um crescimento nas porcentagens durante o período de 2002 a 2009, ocasionado pelo aumento das porcentagens do subgrupo 2A. Porém, a partir de 2010 houve um significativo decréscimo dos valores para o subgrupo 2A, ocasionando uma queda nos percentuais da média geral. As séries temporais do grupo 1 e 2B se mantiveram estacionárias. As baixas temporadas de 2003 e 2012 foram temporadas atípicas, com baixas porcentagens de amostras impróprias, em que a causa deve ser investigada.

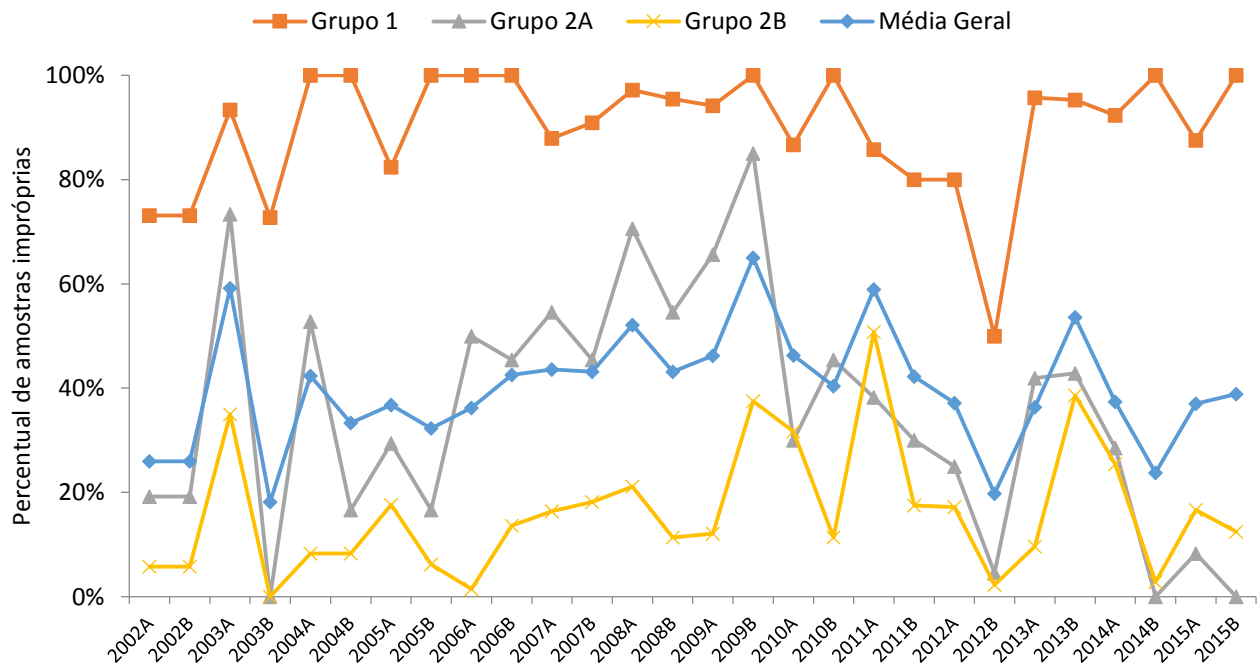


Gráfico 8 - Séries temporais das percentagens de amostras impróprias dos grupos de pontos de amostragem FATMA

7. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu avaliar os aportes de cargas de *E. coli* no corpo d'água da Lagoa da Conceição e sua influência na balneabilidade.

Foi possível observar os diferentes volumes de aportes fluviais em cada sub-bacia e relacionar isto com as distintas características hidrológicas das sub-bacias hidrográficas apontadas por Bier (2013). As vazões medidas tiveram direta relação com regime pluvial, sobretudo no Rio João Gualberto onde a vazão variou de 65 L/s (período de estiagem) a 882 L/s (período chuvoso), enquanto o escoamento superficial da sub-bacia do Centro da Lagoa variou de 28 a 214 L/s (período de estiagem e chuvoso, respectivamente).

Foi visto que o tipo de solo, urbanização e declividade da bacia influenciam notavelmente no escoamento superficial. A vazão específica média calculada para cada sub-bacia variou de 36 L/s.km², na sub-bacia do Centro da Lagoa, a 135 L/s.km², na sub-bacia da Costa da Lagoa. As sub-bacias do Canto, Porto e JG resultaram em uma vazão específica média de 69, 67 e 37 L/s.km², respectivamente.

Verificou-se que a medição de vazão pelo método do flutuador é uma alternativa viável para uma estimativa inicial. Estudos mais detalhados necessitam de métodos com maior precisão e uma maior frequência de medições.

As vazões sanitárias mostraram contribuir em uma parcela das vazões medidas dos escoamentos superficiais nas sub-bacias do Centro, Porto e Rio João Gualberto, chegando a 26% em um período de estiagem. Porém, em períodos chuvosos a contribuição sanitária chegou a apenas 2% da vazão medida nessas sub-bacias.

As concentrações de *E. coli* se mostraram bastante variáveis ao longo do período de monitoramento. As concentrações mais altas (41.000 NMP/100mL no Centro da Lagoa e 20.000 NMP/100mL no Rio João Gualberto) foram encontradas em uma campanha realizada no dia 17/04/2015, logo após uma chuva de 25 mm, após um período de estiagem, caracterizando o fenômeno de carga de lavagem. As concentrações diminuíram à medida que as vazões aumentaram sua magnitude, em virtude do período chuvoso observado a partir de mês de setembro, chegando à uma concentração de 200 e 10 NMP/100mL no Centro da Lagoa e no Rio João Gualberto, respectivamente.

Foram calculadas as cargas de *E. coli* para as sub-bacias monitoradas e foram identificadas diferentes magnitudes em virtude da urbanização, tipo de solo e declividade média do talvegue. Os valores mais altos de carga per capita das sub-bacias monitoradas encontrados

foram as do Centro (6×10^5 NMP/hab.dia) e Canto da Lagoa (8×10^6 NMP/hab.dia), as duas únicas contempladas com coleta e tratamento de esgoto público. As sub-bacias do Porto e do Rio João Gualberto obtiveram menores cargas, ambas 2×10^4 NMP/hab.d, provavelmente em virtude do maior decaimento bacteriano decorrente de um aporte de poluentes mais lento nos corpos hídricos, devido ao tipo de solo arenoso e baixa declividade média do talvegue, atrelado ainda ao tratamento individual por fossas sépticas e sumidouros.

A partir das cargas calculadas em cada sub-bacia foi realizada uma extrapolação para as diferentes URHs da área de estudo. Os resultados apontam que a maior contribuição de *E. coli* na laguna se dá na URH Centro Sul, com uma carga de $2,7 \times 10^{10}$ NMP/dia, chegando a $5,3 \times 10^{10}$ NMP/dia na alta temporada. O aporte total de cargas de *E.coli* na laguna foi estimado em $4,0 \times 10^{10}$ NMP/dia na baixa temporada e $8,2 \times 10^{10}$ NMP/dia na alta temporada.

O agrupamento dos pontos de monitoramento da FATMA com características semelhantes resultou em dois grupos distintos. O primeiro grupo caracterizando-se pela alta porcentagem de amostras impróprias por temporada (média de 90%), devido à proximidade das exutórias das sub-bacias da URH Centro Sul, onde deságua altas cargas de *E. coli*.

O segundo grupo apresenta porcentagens de amostras impróprias menores, e pode ser subdividido em dois subgrupos: o grupo 2A e grupo 2B (médias de porcentagens impróprias de 35% e 16%, respectivamente). O primeiro apresenta porcentagens de amostras impróprias maiores que o grupo 2B, porém menores que o grupo 1. Isso se dá, pois, os pontos estão localizados em regiões onde desagua menores cargas de *E. coli*, porém com baixa circulação hidrodinâmica, acarretando em concentrações mais altas. Já o grupo 2B apresenta as menores porcentagens de amostras impróprias devido aos pontos estarem em áreas onde o aporte de cargas é menor e a circulação hidrodinâmica contribuir para a dispersão dos poluentes.

A análise temporal evidenciou as diferentes faixas de porcentagens impróprias por grupo, porém as mesmas apresentam comportamento semelhante de altas e baixas em determinadas temporadas. De um modo geral, as séries se mantiveram estacionárias, no entanto, o grupo 2A obteve um aumento das porcentagens no período de 2002 a 2009, com um declínio no período seguinte. As baixas temporadas de 2003 e 2012 foram temporadas atípicas, com baixas porcentagens de amostras impróprias, em que a causa deve ser investigada.

O trabalho evidenciou a influência antrópica sobre a balneabilidade do corpo d'água da Lagoa da Conceição. Para futuros

estudos se recomenda um monitoramento sistemático de todos os aportes de carga de poluentes na bacia, sendo eles superficiais e subterrâneos.

Este estudo levantou os aportes preliminares de cargas de *E. coli* na laguna, podendo assim servir de auxílio no manejo e planejamento da bacia hidrográfica em futuras análises e estudos no local.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCEIVALA, S.J. **Wastewater treatment and disposal. Engineering and ecology in pollution control.** New York, Marcel Dekker. 892 p. 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Saneamento em Santa Catarina X Investimentos do PAC.** ABES, Florianópolis: Santa Catarina. Disponível em: <http://www.abes-sc.org.br/novosite/images/documentos/SaneamentoPAC.pdf> Acesso em 29 de setembro de 2015. 2010

AZEVEDO NETTO, J. M.; BOTELHO, M. H. C. **Manual de saneamento de cidades e edificações.** In: Manual de saneamento de cidades e edificações. PINI, 1991.

BARBOSA, T. C. P. **ECOLAGOA: um breve documento sobre a ecologia da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição** / Ana Cristina José, Juliana Rezende Torres – Florianópolis. 2003.

BAUER NETO, V. **Caracterização geomorfológica da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

BIER, F. B. **Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente: **Resolução 274, de 29 de novembro de 2000.** Brasília, Ministério do Meio Ambiente. Acessado em: 21/09/2015, disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/res274/00>. 2000

BRICKER, O. P., & JONES, B. F. **Main factors affecting the composition of natural waters.** Trace Elements in Natural Waters. CRC Press, Boca Raton, FL, 1-5. 1995.

CAMPANÁRIO, P. **Florianópolis: dinâmica demográfica e projeção da população por sexo, grupos etários, distritos e bairros (1950-2050)**. 2007.

CLAESSENS, L. HOPKINSON, C., RASTETTER, E., VALLINO, J.. **Effect of historical changes in land use and climate on the water budget of an urbanizing watershed**. Water Resources Research, v. 42, n. 3, 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidade das praias litorâneas no estado de São Paulo**. 2011. São Paulo: CETESB, 2011.

DAY JR, J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M. & YANES-ARANCIBA. **Estuarine Ecology**. Wiley. 558 p. 1989

DATASUS – Ministério da Saúde. **Situação de saneamento oriundos do Sistema de Informação da Atenção Básica**. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?siab/cnv/SIABCbr.def>. Acesso em novembro de 2013. 2013

DYER, K. R. **Estuaries: A physical introduction**. 2 ed., Chichester, Wiley. 195p. 1997.

EPA - United States Environmental Protection Agency. **Rates constants and kinetics formulations in surface water quality modeling**. Athens. 2 ed., 455p. 1985

ERMENEGILDO, L. F. S., PEREIRA, S. B., ARAI, F. K., ROSA, D. B. C. J., **Vazão específica e precipitação média na bacia do Ivinhema**. Revista Agrarian. 2012

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Segunda Edição. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ. 602p. 1998

FATMA. **Monitoramento da balneabilidade de Santa Catarina de 2002 a 2015**. Fundação de Meio Ambiente. Governo de Santa Catarina. Disponível em <http://www.fatma.sc.gov.br/>. Acesso em agosto de 2015. 2015

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. Editora Edgar Blücher. São Paulo – SP, 1988.

GODOY, F. B., **Caracterização Temática da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis - SC**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

HERRMAN, M. L. P., ROSA FILHO, O., NETO, C. B. R., MENDONÇA, M., & SILVA, A. D.. **Aspectos ambientais dos entornos da porção sul da Lagoa da Conceição**. Geosul, (4), 7-41. 1987.

HUNG J. J. & HUNG P. Y. **Carbon and nutrient dynamics in a hypertrophic lagoon in southwestern Taiwan**. Journal of Marine Systems; 42:97-114. 2003

IPIUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. **Hidrografia e levantamento topográfico de Florianópolis**. 2010.

JI, Zhen-Gang. **Hydrodynamics and water quality: modeling rivers, lakes, and estuaries**. John Wiley & Sons. 2008.

KOTT, U. **Chemical factors**. Symposium on the survival of pathogens in the natural environment. XIII International Congress of Microbiology, Boston, MA. 1982.

LAURENTI, A. **Plano de Atividades: “Monitoramento e modelagem hidrológica-hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC”**. Relatório de Projeto de Pesquisa, Florianópolis. 2011.

LEMÉTAYER, M.; Odreski, L. F. R. **Elaboração e análise temporal espacial dos mapas de cobertura do solo da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC**. 2011.

LINO, J.F.L. **Análise Numérica da Influência de Forçantes Meteorológicas e Oceanográficas sobre a Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC**. Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC. 2005.

MANCINI, J.L. **Numerical Estimates of Coliform Mortality Rates Under Various Conditions**. Journal Water Pollution Control Fed., v.50, n. 11, pp. 2477-2484. 1978

METCALF, L.; EDDY H. P. **Wastewater Engineering – treatment and reuse**. 4 ed. New York, McGraw-Hill International edition, 1848 p. 2002

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **11º Relatório de atividades 2000-2004**. Programa Nacional do Meio Ambiente: MMA, Brasília, 2004.

MIRANDA, L.B; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios da Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2002.

MPB ENGENHARIA. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico** – Florianópolis – SC. Florianópolis, SC. 2010

MULLIGAN, A. E. & CHARETTE M. A. **Groundwater flow to the coastal ocean**. Encyclopedia of Ocean Sciences. Elsevier. 2009.

NEITSCH, S. L. et al. **Soil and water assessment tool user's manual version 2000**. GSWRL report, v. 202, n. 02-06, 2002.

ODRESKI, L. F. R. **Alterações da Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Florianópolis, SC, 2007.

ODRESKI L. F. R. **Influência Hidrológica nos processos hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina. 2012.

PINTO, N. L. S., HOLTZ, A. C. T., MARTINS, J. A., GOMIDE, F. L. S **Hidrologia Básica**, São Paulo, Edgard Blücher, Rio de Janeiro, Fundação Nacional de Material Escolar, 1976.

PORTO, R. de M. **Hidráulica Básica**, EESC USP projeto REENGE. São Paulo-SP–, 1999.

PORTO FILHO, E. **Sedimentologia e Algumas considerações sobre a Biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha**

de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Geografia), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 1993.

PRITCHARD, D.W. **Observations of circulation in coastal plain estuaries** In Estuaries, Publication 83, American Association for the Advancement of Science, Washington, DC. 1967

PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. **Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.247-253, 2004.

ROCHA, C. B. M. **Implementação e uso do modelo Mike 21 na análise de cenários hidrodinâmicos na Lagoa da Conceição – SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2007.

ROCHA, C. M. **Advecção de água subterrânea para as lagoas costeiras do litoral norte do RS, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica), FURG, Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2014

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas.** Embrapa Milho e Sorgo, n. 30, 2003.

SILVA, J. C. **Análise numérica da influência do rio João Gualberto sobre a hidrodinâmica residual da Lagoa da Conceição.** Florianópolis – SC. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

SILVA, J. C. **Análise numérica da influência dos aportes fluviais e antrópicos sobre a hidrodinâmica residual e a qualidade da água da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina. 2013.

SILVA, M. L. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.** Florianópolis, Santa Catarina: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2002

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série Histórica**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica>. Acesso em: 25 de outubro de 2015. 2015.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1222p. 1998.

SPEIDEL, D. H.; RUEDISILI, L. C.; AGNEW, A. F. **Perspectives on water: uses and abuses**. New York: Oxford University Press, 388 p. 1988.

SWAROWSKY, A., O'GEEN, A., DAHLGREN, R. LEWIS, D., SINGER, M. **Research connects soil hydrology and stream water chemistry in California oak woodlands**. California Agriculture, v. 64, p. 78-84, 2010.

TEODORO, V. L. I., TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L., FULLER, B. B. **O conceito da bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Revista Uniara, n.20, 2007.

THOMANN, R.V., MUELLER, J.A. **Principles of surface water quality modeling and control**. Harper International Edition. 644 p. 1987.

TOMAZ, P. **Poluição difusa: trincheira de infiltração, bacia de infiltração, pavimento permeável, poluição difusa, first flush, gestão ambiental, wetland, custos, canais gramados**. Navegar, 2006.

TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões**. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, RS: ABRH-Edusp. 1993.

TUCCI, C. E. M. **Blog do Tucci**. Disponível em <http://blog.rhama.net>. Acesso em 02 de novembro de 2015. 2009.

TSUTIYA, M.T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**, 2.ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e

Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 548p. 2000.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 245p. 1975.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 2005.

WILSON, E. M. **Engineering Hydrology**. Macmillan, London. 4 ed. 1990.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. Volume 1. Recommendations. WHO, Geneva. 2 ed. 188 p. 1993.

ANEXO A – Vazões Medidas

Data	Vazões Medidas (L/s)				
	Centro	Canto	Costa	Porto	JG
23/03/2015	65		27	121	65
17/04/2015	112		151	179	154
08/05/2015	37	78	27	113	82
22/05/2015	103		151	173	242
19/06/2015	69		151	201	202
10/07/2015	45	53	109	99	185
07/08/2015	28	56	151	102	129
10/09/2015	53	117	109	96	167
01/10/2015	98	152	151	189	284
23/10/2015	214	241	264	317	882

ANEXO B - Vazões Específicas

Data	Vazão esp. (L/s.km²)				
	Centro	Canto	Costa	Porto	JG
23/03/2015	28		28	51	10
17/04/2015	49		158	75	24
08/05/2015	15	46	28	48	13
22/05/2015	45		158	73	38
19/06/2015	29		158	85	32
10/07/2015	18	32	113	42	29
07/08/2015	11	33	158	43	20
10/09/2015	22	70	113	41	26
01/10/2015	43	91	158	80	44
23/10/2015	96	143	275	134	138

ANEXO C - Dados Balneabilidade - FATMA

Temporada	Amostras Impróprias Por Temporada								
	P37	P38	P39	P41	P43	P61	P62	P66	P72
2002A	0%	85%	38%	0%	23%	0%	62%	0%	
2002B	0%	85%	38%	0%	23%	0%	62%	0%	
2003A	33%	87%	47%	100%	0%	27%	100%	80%	
2003B	0%	91%	0%	0%	0%	0%	55%	0%	
2004A	28%	100%	44%	61%	0%	0%	100%	6%	
2004B	0%	100%	33%	0%	8%	8%	100%	17%	
2005A	6%	76%	12%	47%	12%	18%	88%	35%	
2005B	8%	100%	0%	33%	0%	8%	100%	8%	
2006A	0%	100%	29%	77%	6%	0%	100%	0%	
2006B	9%	100%	9%	82%	27%	9%	100%	9%	
2007A	6%	75%	59%	50%	12%	6%	100%	44%	
2007B	9%	82%	36%	55%	27%	27%	100%	9%	
2008A	17%	94%	59%	82%	28%	22%	100%	18%	
2008B	9%	100%	27%	82%	0%	9%	91%	27%	
2009A	12%	100%	100%	27%	12%	24%	88%	0%	
2009B	60%	100%	90%	80%	70%	10%	100%	10%	
2010A	7%	73%	33%	27%	20%	20%	100%	80%	57%
2010B	36%	100%	73%	18%	9%	0%	100%	0%	17%
2011A	47%	76%	41%	35%	71%	59%	100%	25%	88%
2011B	20%	80%	40%	20%	0%	0%	80%	50%	90%
2012A	19%	75%	38%	13%	13%	25%	100%	13%	88%
2012B	0%	36%	9%	0%	0%	9%	67%	0%	64%
2013A	20%	94%	47%	38%	13%	0%	100%	6%	44%
2013B	73%	100%	60%	27%	27%	55%	90%	0%	55%
2014A	36%	92%	7%	50%	36%	7%	92%	23%	0%
2014B	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	13%	0%
2015A	0%	100%	8%	8%	0%	42%	75%	25%	75%
2015B	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	50%	100%